Caracterización de sistemas de producción avícola de huevo mediante la implementación de modelos de predicción y clasificación.

Por:
Luis Fernando Galeano Vasco

Director:
Mario Fernando Cerón Muñoz

Comité tutorial:
José Miguel Cotes Torres
William Vicente Narváez Solarte

Doctorado en Ciencias Animales
Universidad de Antioquia
2014

Agradecimientos

A la Universidad de Antioquia, la Facultad de Ciencias Agrarias y sus directivas, por su apoyo incondicional.

Al Centro de Investigaciones Agrarias CIAG.

Al Posgrado en Ciencias Agrarias, en especial a Nélida Rodríguez y Johana Cardona por su incansable compromiso con sus estudiantes.

Al Grupo de investigación GaMMA por abrirme las puertas para mi formación doctoral.

A mis amigos, que si tratara de nombrarlos uno a uno nunca acabaría, por su ayuda, entendimiento y compañía, ellos hicieron posible este logro en mi vida.

Un especial agradecimiento a Cristina Acevedo, Cristina Herrera, Diana Bolívar, Diana Gutiérrez, Divier Agudelo, Julián Ramírez, Luz Victoria Tamayo, Natalia Zapata, Nicolás Ramírez y Oscar Múnera, por su ayuda y continuo apoyo en este logro.

A Juan Manuel Mejía gerente de Aves Emaús y Wilmar Puerta por su compromiso y apertura.

A mi tutor y comité tutorial por su paciencia y perseverancia.

A los profesores Inés M. Galván y Ricardo Aler pertenecientes al Departamento de Informática de la Universidad Carlos III de Madrid, España. Gracias por su apoyo en mi formación doctoral.

Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Colciencias y a su beca de apoyo financiero para estudios doctorales.

Dedicado a:

A Dios mi fuerza y compañía inagotable.

Mis padres y familia amor que nutre mi existencia.

Mi esposa e hijos que son el amor, fortaleza y convicción de mis actos.

A mis parceros del alma Jaime y Nelson, por su alegría, apoyo y amistad.

Mis amigos gestores de momentos inolvidables en mi vida, pues han sido y serán el hombro a la hora de compartir lágrimas, el oído atento a las quejas y reclamos, y la palabra justa para crear una sonrisa en el momento más indicado.

A mi hermano la llama del amor fraterno que guía mis pasos desde el cielo.

Tabla de Contenido

Lista de Tablas

Lista de Figuras

Lista de Abreviaturas

AIC: Criterio de información de Akaike
ANN: artificial neural networks
ART: Teoría de Resonancia Adaptiva
BAM: Bidirectional Associative Memory
BIC: Criterio de Información Bayesiano
BW: peso corporal
CME: cuadrado medio del error
CO_2: dióxido de carbono
CP: Proteína cruda
Dif: diferencia entre la cantidad de alimento consumido y el valor teórico de consumo
DSS: Decision Support Systems
DW: estadístico Durbin-Watson
FENAVI: Federación Nacional de Avicultores de Colombia
HB: Hy Line Brown
IB: Isa Brown
ICA: Instituto Colombiano Agropecuario
LB: Lohmann Brown
LQV: Learning Vector Quantization
LSL: Lohmann LSL
MAD: media absoluta de la desviación
MAPE: porcentaje de la media absoluta del error
ME: Energía metabolizable (Mcal/kg)
MLP: Perceptrón multicapa
MM: modelo matemático
MNL: modelos no lineales
MNLM: modelos no lineales mixtos
MSE: cuadrado medio del error

Pearson’s correlation coefficient (COR)

r: coeficiente de correlación

R^2: Coeficiente de determinación

RNA: Redes neuronales artificiales

RNNE: redes neuronales recurrentes tipo Elman

RNNJ: redes neuronales recurrentes tipo Jordan

RSD: desviación estándar residual

SATD: sistemas de soporte para la toma de decisiones

SD: desviación estándar

SGI: Sistema de gestión de la información

TMP: Topology-Preserving Map

UPM: Universidad Politécnica de Madrid

Wk: semana

Resumen General

Este proyecto pretendió caracterizar y modelar las fases de crecimiento y producción de aves productoras de huevo comercial, por medio de la toma de información, medición, análisis de variables productivas y generación de modelos de predicción.

Este documento final de Tesis presenta los resultados del proceso de investigación y se compone de una *introducción* donde se abordan conceptos alusivos al problema que motivó el desarrollo de la investigación. A continuación el lector encontrará el *marco teórico* en el cual se incorpora información del sistema productivo comercial de huevo en Colombia, parámetros productivos de la líneas genéticas, además presenta conceptos de la modelación y sus usos en la avicultura, también se define la funcionalidad y estructura de un sistema de apoyo a la toma de decisiones y se culmina definiendo las Redes neuronales con énfasis en su morfología y usos en la modelación.

En el *capítulo 1* se presenta la evaluación de la capacidad para ajustar la curva de crecimiento de los modelos no lineales mixtos Von Bertalanffy, Richards, Gompertz, Brody, y Logístico. Como resultado, el modelo no lineal mixto que mejor ajustó la curva de crecimiento fue el de Gompertz, seguido por Richards y Von Bertalanffy.

Para la modelación de la curva del crecimiento de aves de la línea Lohmann LSL en el *capítulo 2*, se compararon los modelos no lineal Von Bertalanffy (MNL), no lineal mixto Von Bertalanffy (MNLM) y redes neuronales artificiales (RNA). Se encontró que el modelo más preciso fue el MNLM, seguido por la RNA y en último lugar el MNL. Señalando a las RNA como alternativa en la modelación del crecimiento.
En el *capítulo 3* para modelar la curva de producción de huevos se utilizaron los modelos Adams-Bell, Lokhorst y de distribución con retardo (Delay). Los modelos

Delay y Lokhorst presentaron el mejor ajuste, siendo los más eficientes para predecir la curva de las estirpes probadas. Continuando con la definición del modelo para la curva de producción de huevos en el *capítulo 4* se compararon el modelo perceptrón multicapa (redes neuronales artificiales (RNA)) y el modelo Lokhorst. Ambos modelos proporcionaron ajustes adecuados para la curva de producción, aunque por la facilidad de configuración y de ajuste se recomendó el uso de las RNA. En la segunda parte de este capítulo se utilizaron las redes neuronales recurrentes de Elman y Jordan, y el perceptrón multicapa (MLP) para construir un modelo de predicción de la curva de producción. Se logró obtener un modelo funcional que predice la producción diaria de huevos, pero que necesita de la inclusión de más variables para ajustar la variabilidad presentada en la curva de producción.

En el *quinto capítulo* se incorporan los conceptos teóricos y de modelación de los cuatro capítulos anteriores para dar vida a la herramienta informática denominada "Sistema de Gestión de Información Para Granjas Avícolas", como sistema de apoyo a los avicultores que facilite y agilice la recopilación, almacenamiento, procesamiento y análisis de la información, y que además, sirva como apoyo gerencial en la toma de decisiones en tiempo real.

Abstract

This project pretended to characterize and model the growth and production phases of commercial laying hens, by gathering information, measuring and analyzing productive variables and creating prediction models.

This final thesis document presents the results of the research process and is comprised of an *introduction* where concepts alluding to the problem that motivated the development of the research are discussed. Next the reader will encounter the

theoretical framework with information on the commercial egg production system in Colombia, production parameters of the genetic strains, and modeling concepts and their use in poultry, along with the definition of the functionality and structure of a support system for decision making culminating with the specification of neural networks emphasising on their morphology and use in modeling.

In *Chapter 1* the evaluation on the adjustment capacity presents assessing the ability to adjust the curve of growth of nonlinear mixed models: Von Bertalanffy, Richards, Gompertz, Brody and Logistic. As a result, the mixed nonlinear model that best fitted the growth curve was Gompertz model, followed by Richards and Von Bertalanffy.

In *Chapter 2*, the non linear model Von Bertalanffy (MNL), non linear mixed model Von Bertalanffy (MNLM) and the artificial neural networks (ANN) were compared for the modeling of the growth curve of hens from the Lohmann LSL line. The most precise model was the MNLM, followed by the ANN and in last place the MNL. This shows ANN as an alternative in growth modeling.

In *Chapter 3*, in order to model the egg production curve, the models Adams-Bell, Lokhorst and delay distribution (Delay) were used. The Delay and Lokhorst models presented the best fit, being the most efficient in the prediction of the curve of the strains tested. Continuing on with the model definition for the egg production curve in *Chapter 4* the multilayer perceptron (artificial neural networks (ANN)) and the Lokhorst models were compared. Both models provide adequate fits for the production curve, although due to the ease of configuration and adjustment, the ANN is recommended. In the second part of this chapter the recurrent neural networks of Elman and Jordan and the multilayer perceptron (MLP) were used to build a prediction model of the production curve. It was possible to obtain a functional model that predicts the daily egg production, but it needs to include more variables to adjust the variability presented in the yield curve.

In the *fifth chapter* the theoretical and practical concepts of modeling of the previous four chapters are incorporated to give life to the software tool called "Information Management System For Poultry Farms", as a support system to farmers to facilitate and expedite the collection, storage, processing and analysis of information, and also serves as a management support decision making in real time.

Introducción General

La permanencia en el sector de cualquier sistema productivo empresarial requiere de la planeación y ejecución de actividades tendientes a la optimización de recursos y entre otros a lograr la maximización de su rentabilidad, para ello es necesario implementar procesos gerenciales que propendan por mejorar la calidad, la productividad y la competitividad de la empresa. La efectividad de estos procesos requiere de la definición de estrategias a corto, mediano y largo plazo; las cuales deben estar fundamentadas en el conocimiento, análisis y documentación de las actividades propias del negocio, logrando definir y controlar los factores que intervienen de manera directa o indirecta en la repuesta económica y productiva del sistema.

La producción empresarial avícola de huevo depende del mantenimiento de la respuesta productiva de las aves en un nivel óptimo que permita maximizar el uso de los recursos propios. Pero el nivel productivo de las aves está condicionado por múltiples factores, tales como los ambientales ej.: temperatura, humedad relativa, ventilación, luminosidad; de manejo ej.: densidad de las aves, número de comederos y bebederos por ave, nutricionales ej.: balance nutricional, costo materias primas, granulometría, tipo de comederos, sistema de alimentación, suplementación mineral, y propios del ave (estirpe, edad, peso), entre otros. Cada uno de estos factores puede ser medido, registrado y analizado, pero por su volumen y variabilidad se hace dificil para el ser humano poder evaluarlos en tiempo real sin el uso de aplicaciones informáticas, como los modelos matemáticos y la simulación. En tal sentido, el avicultor-empresario debe contar con herramientas que faciliten el análisis e interpretación de la información del sistema, y que además le permitan hacer continuo monitoreo y control del sistema productivo, a partir de la medición de la productividad, la valoración del uso de los recursos y el registro día a día de las condiciones ambientales y económicas del sector; con el fin realizar toma de decisiones objetiva y que además, permita reducir los costos y maximizar

la rentabilidad y eficiencia del proceso productivo con los recursos disponibles (Oviedo, 2002).

Como alternativa existen los sistemas de apoyo a la toma de decisiones, dentro de los cuales se encuentran los modelos matemáticos los cuales son formulismos compuestos por ecuaciones, variables y funciones que permiten hacer una representación simplificada de las posibles relaciones de un sistema biológico. Los modelos matemáticos facilitan el entendimiento de las partes y las interrelaciones entre los elementos de un determinado sistema, y simular el efecto de la introducción de cambios en los componentes (escenarios virtuales), sin necesidad de ser llevados a cabo sobre el sistema real. (Keen y Morton, 1978)

Los modelos de simulación tienen gran aplicación en el ámbito agropecuario principalmente en funciones de crecimiento, producción, consumo de alimento, mejoramiento genético, entre otras. No obstante, la modelación de eventos o características de un ser vivo, es un asunto complicado debido a la utilización de parámetros con interpretación biológica que permitan describir los cambios longitudinales, la variación de las observaciones en el tiempo y en muchos casos, la imposibilidad de cumplir con los supuestos de los modelos estadísticos (Aggrey, 2009). Otro aspecto a resaltar, es que los parámetros obtenidos en modelos evaluados por investigadores en países desarrollados o estacionales, han sido obtenidos en condiciones ambientales, tecnológicas y de material genético distintas a las que se poseen en los sistemas de producción Colombiano, por lo que queda en discusión la valides de los resultados obtenidos con la extrapolación directa de estos modelos.

La proyección empresarial de los sistemas de producción avícola nacional requiere la implementación de sistemas de gestión de la información gerencial de apoyo a la toma de decisiones, lo cual implica el desarrollo de investigaciones para la creación y evaluación de técnicas de modelación, simulación y optimización, construidas a

partir de la información propia de los sistemas productivos con el fin de identificar posibles alternativas de solución a los problemas y obtener los valores óptimos que satisfagan las condiciones de cada sistema de producción y de su entorno (Oviedo, 2002).

Este trabajo tiene como objetivo la caracterización de sistemas de producción de huevo comercial, en las etapas de cría, levante y producción, a partir de la creación, comparación y validación de modelos de predicción y clasificación que faciliten la comprensión, análisis y mejora del proceso productivo de las aves en la fase de crecimiento y producción de huevos con modelos lineales, no lineales y Redes neuronales artificiales (RNA). Además, se propone la creación de una herramienta para la identificación de puntos críticos en los procesos de producción del huevo y con el fin de facilitar la toma de decisiones y la planificación de la producción con modelos computacionales como las RNA.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y aplicar una herramienta informática para la caracterización y apoyo gerencial basada en técnicas de modelación y optimización en sistemas de producción de huevo comercial de Antioquia.

Objetivos específicos

- Establecer el modelo que mejor ajusta la curva de crecimiento y el desarrollo del ave de postura.
- Establecer el modelo que mejor ajusta la curva del ciclo productivo del ave de postura.
- Diseñar y evaluar un sistema de información de apoyo a la toma de decisiones para sistemas de producción avícola de huevo comercial.

Marco Teórico

El sector avícola se divide en la explotación de aves pesadas tipo carne y de ponedoras comerciales para huevos. Para el 2002 Colombia contaba con un promedio de 23 millones de ponedoras comerciales distribuidas en 962 granjas. Al 2008 la población aumentó en 5,2% promedio anual, y Antioquia paso de tener 78 a 94 granjas comerciales de huevo (FENAVI, 2009; 1er Censo Nacional de Avicultura Industrial, 2014).

En Antioquia los principales sistemas de producción de huevo son jaula y piso, y en menor proporción pastoreo. El sistema de jaula se caracteriza por ofrecer un huevo limpio, sin necesidad de consecución de materiales para el cambio de la cama y mayor número de aves por metro cuadrado; además de facilitar las tareas de detección, tratamiento de aves con problemas productivos o sanitarios y actividades de manejo como vacunaciones, pesajes, recolección de huevos, suministro de alimento y evacuación de las excretas. En comparación con los otros sistemas, el de jaulas requiere mayor inversión en construcciones y equipos por ave encasetada, y la continua remoción de las heces (gallinaza) ya que estas pueden causar problemas de acumulación de gases. A nivel fisiológico las jaulas ocasionan en las aves afecciones musculares y óseas debido a baja movilidad e imposibilidad de desarrollar comportamientos etológicos como baños de arena, desgaste de uñas y descanso en perchas. Las densidades recomendadas son de tres aves semipesadas o cuatro aves livianas por jaula, con el fin de garantizar 550 cm^2 por ave exigidos por la normatividad internacional de la Unión Europea establecidos en la Directiva 74 de 1999 y el Real Decreto 3 de 2002 sobre condiciones mínimas del alojamiento de las gallinas ponedoras, pero a partir de 2012 todas las jaulas debían ser cambiadas por un sistema de jaulas enriquecidas (espacio con nidal, rascador de uñas, baño de arena) que permita la expresión de comportamientos etológicos propios del ave y que garantice 750 cm2/ave. En estados Unidos al 2008 la Unión de Productores de huevo (UEP) estableció como norma de certificación un área

mínima de 430 cm2/ave (Van Horne y Achterbosch, 2008). En Colombia no se tiene una norma o ente que establezca cual es la densidad en los sistema de producción de huevo, la única referencia es que los productores siguen las recomendaciones de los manuales de las casas genéticas, con el fin de garantizar las condiciones mínimas (nutrición, iluminación, ventilación, y densidad) que la gallina necesita para expresar su potencial productivo.

El sistema de producción en piso ofrece como ventajas el confinamiento de las aves en espacios más amplios, lo cual le permite a los animales desarrollar comportamientos etológicos propios. Como desventajas están los problemas en el manejo de la cama, la generación de gran cantidad de polvo, la pérdida de huevos por postura fuera de los nidales y el aumento en la cantidad de huevos sucios.

El sistema de pastoreo se aplica en pocas producciones, debido a su alta demanda de espacio, aunque ofrece como ventaja la disminución en el consumo de alimento concentrado y la posibilidad de ofrecer al mercado el huevo con valor agregado por la disminución en los niveles de estrés de las aves.

En los sistemas comúnmente se utilizan comederos manuales de canoa, tolva o automáticos como el de banda y cadena transportadora, también se usan bebederos manuales de campana y automáticos de copa, nipple y campana.

Actualmente los productores de huevo cuentan con líneas genéticas especializadas como Hy Line W98, Hy Line W36, Hy Line Brown (Avícola colombiana- Avicol); Lohmann White LSL, Lohmann Brown, H&N Nick Brown (Pronavicola) e Isa Brown (Colaves) (ICA, 2009). El avance genético de estas aves se ha orientado a obtener animales que alcancen una madurez sexual e inicio de postura a menor edad, disminución en el consumo de alimento, y aumento en el peso y número de huevos, además de una mayor persistencia en nivel máximo de producción, huevos con mejor calidad de la cáscara y sin presencia de manchas de sangre, resistencia a

enfermedades y adaptación a climas adversos (Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 2008).

Los principales parámetros indicadores de la respuesta productiva del ave en condiciones ideales de ambiente y nutrición, son: Duración del período de producción, porcentaje de viabilidad, edad al 50% de producción, porcentaje al pico de producción, peso del huevo, huevos por ave alojada, masa del huevo por ave alojada, consumo de alimento promedio diario por ave, conversión alimenticia expresada como kilogramos de alimento por kilogramo de huevo o kilogramos de alimento por docena de huevo, y finalmente, el peso corporal (Tabla 1).

Tabla1. Parámetros productivos propuestos por las casas genéticas en las guías de manejo de aves para la producción de huevo comercial.

Parámetro	**ISA HB**	**LB**	**LSLC**	**ISAB**	**HB**	**HW 36**	**ISA DB**	**ISA BB**
Período de producción (semanas)	18 90	19 80	19 80	18 90	18 80	18 80	18 90	18 90
Viabilidad %	94	94 96	94 96	94	94	94	94	94
Edad al 50% de producción (Días)	143	140 150	140 150	144	145	143	143	144
Pico de producción %	96	92 94	92 95	96	94 96	95 96	96	96
Peso promedio del huevo (g).	62.7	64 65	62.5 63.5	62.9	64.1	64	62.7	63.8
Huevos Ave Alojada	408	335 345	340 350	409	354 361	369 378	404	404

Masa Huevo por Ave Alojada (Kg)	25.6	21.4 22.4	21.2 22.2	25.7	22	22	25.3	25.8
Consumo de Alimento Promedio Diario por ave (g)	112	110 120	105 115	111	107	95	112	114
Kg Alimento / Kg Huevos	2.18	2.1 2.2	2.0 2.2	2.15	1.99	1.86	2.2	2.2
Peso Corporal kg		1.6 1.7	1.2 1.3		1.91	1.25		
Peso Corporal kg (80 semanas)	2.015	1.9 2.1	1.7 1.9	2.02	1.97	1.56	2.02	2.02

Adaptado de las diferentes guías de manejo (Hendrix Genetics, 2006; Hy-line International, 2005; Hy-line International, 2003; Lohmann, 2005; Lohmann, 2006; Lohmann, 2007) En la tabla aparecen ISA Hisex Brown (ISA HB), Lohmann Brown (LB), Lohmann LSL-Clasic (LSLC), ISA Brown (ISAB), Hy-line Brown (HB), Hy-line W-36 (HW36), ISA Dekalb Brown (ISADB) e ISA Babcock Brown (ISA BB), entre otras líneas genéticas de aves.

Dentro de los indicadores productivos más importantes para la avicultura esta la precocidad del ave o madurez sexual, comprendida como la edad en que el 5% de las aves del lote llega a producción. En un lote normal el ciclo productivo comienza alrededor de las 18 a 19 semanas de edad (Castelló et al., 1989), pero este inicio temprano de la producción depende principalmente de la selección genética, el tipo de alimentación que ha recibido y el plan de iluminación con que se ha criado, los cuales tienen un efecto directo en el desarrollo corporal y fisiológico del ave. El continuo control del peso del ave dio origen al parámetro de uniformidad del lote, el cual se elabora a partir de la cuantificación de la variabilidad del peso de la población con respecto al peso medio y al parámetro recomendado por la casa genética para la edad de evaluación. La uniformidad se calcula con el fin de tomar decisiones sobre la cantidad y calidad alimento a suministrar, la densidad de animales por

metro cuadrado y la disponibilidad de comederos y bebederos para el lote (Abad, 2003).

El desarrollo esquelético muscular del ave se describe en la curva de crecimiento, que en general se caracterizan por iniciar con una fase de aceleración del crecimiento desde el nacimiento, luego continua la fase de máximo crecimiento que hace referencia al punto de inflexión de la curva, esto se da desde la primera hasta la décima semana de edad. Luego la tasa de crecimiento se desacelera y llega al valor superior (asíntota) el cual coincide con el peso de madurez del ave alrededor de las semana 18 a 20. A partir de esta edad, el lento aumento de peso hasta la semana 35 consiste en la acumulación de reservas grasas necesarias para la formación del huevo (Roush y Branton, 2005).
La curva de producción de huevos se puede dividir en tres fases observables, la primera consiste en el incremento acelerado de la producción, al pasar de cero a más del 90% de producción en un lapso de ocho a 12 semanas y llegar al máximo de producción. La segunda fase se denomina período de persistencia y consiste en la etapa en días en que las aves mantienen un nivel productivo por encima del 90% el máximo tiempo posible. Esto normalmente ocurrirá a lo largo de 25 a 30 semanas, pero en algunos lotes excepcionales puede llegarse hasta 35 semanas (Castelló, 1989; Grossman et al., 2000). Por último se encuentra la disminución de producción hasta la salida o descarte del lote del sistema productivo con edades entre las 80 hasta 100 semanas de vida dependiendo de la línea genética de aves utilizada (North y Bell, 1990). La respuesta productiva de cada lote expresada como la edad al inicio de la producción, edad al pico de producción, porcentaje máximo de producción, número de semanas por encima del 90% de producción y edad de descarte, son diferentes entre lotes y líneas genéticas; además está influenciada por factores como la alimentación, plan sanitario, condiciones ambientales y prácticas de manejo entre otros (Flores, 1994).

Otro parámetro de gran importancia es el porcentaje de producción de huevos, se calcula como la relación entre el número de huevos producidos y el número de aves promedio existentes en un período de tiempo definido (día, semana, año, etapa productiva). A su vez, el máximo nivel de producción, se define como pico de producción y es el punto máximo de la curva de postura. Desde que las aves ponedoras inician y todas alcanzan el máximo en producción pasan entre 6 y 8 semanas dependiendo de la uniformidad del lote y precocidad sexual (Abad, 2003).

Los huevos ave alojada, es otra forma de expresar la aptitud para la producción y se refiere a la relación existente entre el número de huevos y número de gallinas que inician la producción, este parámetro está asociado al potencial genético que tiene el ave de producir un número de huevos durante toda su vida productiva, y se ve afectado entre otros por la baja viabilidad de las aves, debido a que el aumento en la mortalidad de las aves hace que se disminuya el número de huevos por ave que inicia el ciclo (Castelló, 1989).

Tan importante como el nivel de producción está el peso del huevo, el cual es un indicador del metabolismo nutricional del ave, y se relaciona con la edad, el tamaño, línea genética del ave y el balance nutricional del alimento. Este factor tiene gran relevancia en el cálculo de la conversión alimenticia y la eficiencia nutricional (Holt et al., 2011).

El análisis de estos parámetros le ofrece al productor términos de referencia para determinar el rendimiento productivo del lote y así calcular la eficiencia en la producción de huevos. La eficiencia es la capacidad de lograr un fin por medio de la relación deseable entre los factores y resultados productivos, esto es, maximizar la producción con el mínimo de recursos o minimizar los recursos dado un nivel de producción a alcanzar. Los índices de eficiencia son herramientas útiles en el análisis de sistemas, indicando alteraciones en los costos del proceso productivo e identificando posibles soluciones. La eficiencia es definida como la relación entre

los ingresos y egresos (entradas y salidas; recursos y productos) en el proceso productivo, facilitando buscar el equilibrio entre productividad, rentabilidad y nivel tecnológico utilizado en los sistemas de producción. Para su cálculo es importante identificar y describir, con base en las actividades y costos, los componentes del sistema utilizados en la evaluación de la eficiencia. (Wadsworth, 1997).

Factores que afectan la respuesta productiva del ave

Tanto el crecimiento como la respuesta productiva del ave dependen de factores inherentes y externos al animal, tales como: línea genética, tipo de explotación, sanidad, densidad, temperatura, humedad relativa, iluminación y nutrición entre otros (Flores, 1994).

En la etapa de crecimiento, la cantidad de alimento consumido y balance de nutrientes son importantes en el desarrollo multifásico del ave, en especial para alcanzar el peso objetivo y madurez sexual, aspectos que se verán reflejados en el número total de huevos producidos, peso del huevo y calidad de la cáscara (Carrizo y Lozano, 2007; Aerts et al., 2003).

El efecto de las variables ambientales, en especial la temperatura y la humedad relativa afectan a las aves, debido a que las gallinas a diferencia de otros animales domésticos, no poseen glándulas sudoríparas, por lo que el control de la temperatura corporal lo hace por radiación, conducción, convección, y evaporación de agua a través del tracto respiratorio. Por lo anterior, el ave depende de las condiciones de temperatura y humedad del medio para regular su temperatura interna y cuando estos factores se alteran obliga al ave a implementar cambios fisiológicos para regular su temperatura corporal, pero estos procesos son ineficientes e implican un aumento en el gasto energético y detrimento de condiciones de salud en el ave (Plazas y Ávila, 2011).

La zona termo neutral o de confort para gallinas adulta oscila entre 12 y 24 ºC con condiciones de humedad entre 60% y 70%. En tal sentido, temperaturas superiores a los 28°C, con saturaciones de las humedades relativas mayores al 75% y baja velocidad en la ventilación, ocasionan en el ave estrés calórico y en consecuencia alteraciones en la respuesta productiva y la salud de los animales. Estudios han demostrado que aves expuestas a condiciones extremas de temperatura y humedad presentan bajo peso del huevo y además, disminución en el número de huevos producidos, el peso del ovario y el número de folículos maduros (Rozenboim et al., 2007); también se ven afectada la respuesta inmune del ave al inhibirse la producción de anticuerpos y el número de células blancas, y genera alteraciones en los proceso digestivos de nutrientes en especial la proteína (Mashaly et al., 2004).

En estas condiciones, la relación del consumo de alimento y agua de la gallina también se ve perturbada, ya que en estado de confort esta relación es de 1:2, pero al aumentarse la temperatura puede llegar a ser de 1:5 (Thiele y Pottgüter, 2008). Este incremento en el consumo de agua hace que las heces sean más fluidas, lo que aumenta la saturación de humedad en el ambiente y genera una mayor volatilización del nitrógeno y gases que afectan al tracto respiratorio. Como consecuencia a la exposición del ave a altas concentraciones de gases se disminuye el flujo de mucus traqueal y la función ciliar de la tráquea, lo cual aumenta la susceptibilidad a enfermedades respiratorias y a infecciones secundarias como Newcastle, aerosaculitis y patógenos oportunistas como la *E. coli,* entre otros.

La alta humedad ambiental y las altas temperaturas disminuyen la eficiencia de termorregulación a través del jadeo o polipnea térmica, lo anterior obliga al ave a aumentar la frecuencia respiratoria, y con ello desencadena la alteración bioquímica en el equilibrio ácido base; esto debido a la pérdida de excesiva de dióxido de carbono (CO_2) (Santomá y Pontes, 2004 y 2006; Borges et al., 2007), este desbalance bioquímico tiene efecto en la formación de la cascara, debido a que al disminuirse los niveles de CO_2 necesarios en el proceso de formación del carbonato

de calcio en la cascara, se generan pérdidas por la ruptura de la cascara por su fragilidad o inexistencia (huevo en fárfara) (Borges et al., 2007).

Otro factor importante es la iluminación, el cual tiene efecto sobre: consumo de alimento, crecimiento del ave, maduración sexual, respuesta productiva del ave y la calidad interna y externa del huevo (Renema y Robinson, 2001; Renema et al., 2001; Lien et al., 2008; Summer y Lesson, 1993). Lo anterior se debe a que la gallina es un animal fotosensible, es decir sus procesos biológicos como el grado de actividad, la reproducción y el crecimiento son regulados y afectados por un ritmo circadiano que depende de la intensidad lumínica y la duración en horas de la exposición a la luz (Cavalchini et al., 1990; y Rozenboim et al, 1999); por tal motivo, el productor recibe las aves con un programa recomendado de iluminación, el cual si se cumple, garantiza llegar a ganancias de peso adecuadas durante la crianza y permite el inicio oportuno de la producción de huevo (Lewis et al., 1999).
Actividades de manejo como la definición del número de animales por metro cuadrado (densidad), uso de perchas y recorte del pico, ofrecen numerosos resultados desde el punto de vista de bienestar animal, comportamiento social y respuesta productiva de las aves (Lemus et al., 2009). De los tres aspectos antes mencionado uno de los más controversiales es el despique, ya que en aves destinadas a la producción de huevo se considera una práctica necesaria y rutinaria con el objetivo de prevenir las perdidas productivas por aves lesionadas o muertas a causa de picoteo o el canibalismo, y además, permite disminuir el estrés y perdidas energéticas por las peleas generadas por la definición de jerarquías y repuestas de dominancia entre las aves (Pizzolante, 2007).

La práctica del despique puede provocar a corto plazo la disminución en el las actividades de consumo de alimento, consumo de agua y acicalamiento (Duncan, et al., 1989). En el caso de presentarse problemas en la técnica de despique pueden darse sangrados, dolores crónicos y a largo plazo alteraciones en el consumo de alimento que se ven reflejados en pérdida de peso y des- uniformidad del lote.

Guesdon (2006) comparó dos lotes de aves y encontró una mortalidad 5% menor en el lote despicado (técnica cuchilla caliente) con respecto al que conservó el pico, respaldando las ventajas del despique en las aves.

En aves semipesadas (despicadas a 1 día de edad y no despicadas) Hadorn et al. (2000), encontraron que durante la cría hasta los 105 días de edad, el grupo de ave despicadas estuvo 2.5% y 1.1% por debajo del peso y el consumo de alimento respectivamente, en contraste con las aves sin despicar. Con respecto a la mortalidad la diferencia fue de 0.4% a favor del lote sin despicar. En términos de producción, desde la semana 21 a 63, la aves despicadas superaron en 2.9%, permitiendo que el lote fuera más eficiente (7.4 vs 5.2%) pues los consumo de ambos fueron similares en esta fase. Pero el aspecto más relevante es que el lote despicado presentó una mortalidad 5.6% menor, donde el lote sin despicar llego al 12.3% de muertes en el sistema de producción en aviario.

Comúnmente el despique se ha realizado con la técnica de la cuchilla caliente, la cual requiere de gran pericia del operario para el mantenimiento de la temperatura del equipo, posicionamiento del ave para el corte y forma del corte del pico. Actualmente existen evidencias del uso de una técnica menos “invasiva” o “cruel” como lo es el uso de infrarrojos. Dennis et al. (2010), compararon ambas técnicas y encontraron que el tiempo de recuperación de la pollita despicada con infrarrojo era menor, por lo que el ave retornaba más pronto a las actividades de consumo de alimento y agua. Lo anterior ocasionó que el grupo de aves despicadas con cuchilla presentara menores pesos corporales, lo cual podría afectar su respuesta productiva.

Otro aspecto adicional a la técnica de despique, es la edad de aplicación. Referente a esto Bell y kuney (1991) realizaron la evaluación de lotes e aves White Leghorn despicados a las 6 y 12 semanas de vida. Concluyendo que el despique a edades tempranas ofrecía mayor peso a las 18 semanas, etapa de desarrollo corporal

previo al inicio de producción (madurez sexual), generando un inicio de postura más rápido, y en consecuencia, incrementando el número de huevos por ave alojada. Además, presentó mayor masa de huevo producido, un mayor consumo de alimento y un mayor ingreso económico por el total de huevos.

El éxito de un despique depende de factores clave como:

a) Una correcta programación de actividades en el lote, de modo que el despique no sea algo improvisado, permitiendo contar con el número de operarios (capacitados en la captura y despique de las aves) y equipos necesarios (cortadores y cuchillas desinfectados y en correcto funcionamiento) para hacer de esta práctica lo menos estresante y de corta duración para las aves.
b) Evaluación del estado de salud y peso del lote antes del despique, de modo de no someter a esta actividad aquellas aves que no cumplan con estos criterios.
c) Preparación de los animales para el corte de pico, con el uso de suplementos vitamínicos y estimulantes de las defensas (inmuno-moduladores) antes de la práctica, lo que permite disminuir los sangrados posteriores al corte y respaldar el sistema inmune para responder ante cualquier reto de campo.
d) Implementación del despique en horas frescas (madrugada y noche), facilitando la captura y manipulación de las aves.
e) Implementar un plan de control posterior al corte de picos, que incluya revisión del estado de las aves, estimulación de agua y consumo y evaluación de animales con hemorragias. Permitiendo incrementar la tasa de recuperación y la identificación y separación de animales con problemas consecuentes al despique.

Herramientas para el análisis de la información.

Los sistemas de soporte para la toma de decisiones (SATD), se definen como aplicaciones informáticas administrativas construidas con modelos analíticos sofisticados, cuyo objetivo es optimizar el sistema a partir del procesamiento de la información introducida por el usuario y suministrar información más estructurada, resultado del análisis y optimización de los parámetros de operación del sistema y que sirve de apoyo a la toma de decisiones. Es de resaltar que un SATD no soluciona problemas, sólo es una herramienta de apoyo que puede ofrecer alternativas para la construcción, revisión y control de las estrategias organizacionales; por ende la responsabilidad directa de la toma de decisiones recae sobre el usuario. Los SATD aplican los principios de la teoría de la decisión, teoría de la probabilidad, y análisis de las decisiones a sus iteraciones para valorar el nivel de certeza, confiabilidad y riesgo de las alternativas seleccionadas y termina por ofrecer al usuario final un conjunto de alternativas que son utilizadas como apoyo a los procesos gerenciales (Figura 1) (Newman et al., 2000; Keen y Morton, 1978).

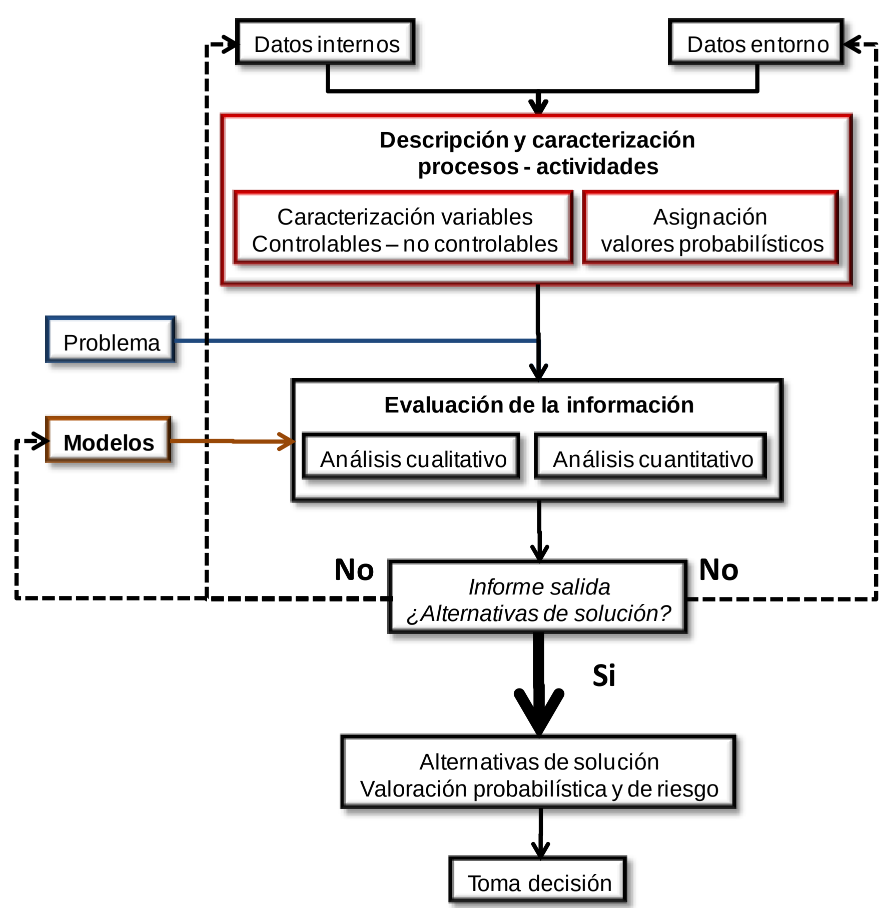


Figura 1. Esquema que muestra cual es el sentido del flujo de la información en un Sistema de apoyo a la toma de decisiones SATD.

Estos sistemas de apoyo se caracterizan por ser herramientas de interactividad con el usuario, debido a la facilidad que deben tener para su aprendizaje, uso, alimentación de datos y consulta de la información almacenada con altos estándares de diseño gráfico y visual. Además, los SATD deben ser flexibles, al permitir la participación de distintas personas con variedad de estilos administrativos y generar para cada usuario ambientes simulados dependiendo de las variables de interés alteradas y así visualizar los cambios presentes o futuros con respuesta a tiempo real. Lo anterior con el fin de mejorar la toma de decisiones a partir de colección de la mayor cantidad de información del proceso, elaboración continua de

diagnósticos de la situación de la empresa y de la explicación de sus problemas actuales (Abelson y Levi, 1985).

La aplicación de SATD en los sistemas de producción presenta ventajas como la maximización de la productividad, a partir de la optimización de los procesos, el incremento de la eficiencia en el uso del tiempo y de recursos y en consecuencia la reducción costos. Otro aspecto a resaltar es la posibilidad de integrar la información de los múltiples subsistemas o procesos que hacen parte del sistema de producción, permitiendo tener una mirada holística de todo el sistema en sí. La incorporación de los SATD como herramienta de apoyo gerencial de la empresa facilita el continuo diagnóstico de los procesos, lo que permite monitorear y mejorar la calidad, productividad y competitividad de los procesos (Newman et al., 2000).

La principal desventaja de los SATD es la dependencia de la calidad y cantidad de información que entra al *software* para garantizar que las alternativas de solución que ofrece el sistema correspondan al estado actual de la empresa, ya que información que no permita hacer la estimación de probabilidades debido a su baja confiabilidad ocasiona que se tomen como criterios de decisión presunciones falsas, siendo estas la principal fuente de errores en los sistemas de toma de apoyo administrativo al generar decisiones con baja certeza, alta incertidumbre y errores de pronóstico (Arsham, 2009). Por tal motivo, los SATD deben estar acompañados de evaluaciones continuas de la integridad, calidad y veracidad de la información, esto se puede lograr con la incorporación de bases de datos externas que permitan establecer parámetros de comparación del sistema evaluado y así determinar la variabilidad o posibles problemas en la matriz informativa propia de la empresa.

Las claves para el éxito en la aplicación de una SATD radican en la capacitación de las personas que van a estar a cargo de la aplicación, en establecer actividades de valoración de la información y en el apersonamiento en el uso. Por último, la experiencia y conocimiento del sistema de producción por parte de los usuarios es

importante, pues se convierten en criterios de aprobación o descarte de las distintas alternativas de solución propuestas por el SATD.

En general los SATD están integrados por subsistemas (Ruíz et al., 2009; Druzdzel y Flynn, 2002):

1) Subsistema de gestión de datos (SGI): Permite generar procesos de administración de los datos a partir de la construcción de sistemas de almacenamiento y organización. Para ello se incluye el uso de bases de datos que contienen información relevante para los procesos productivos. Los SGI se caracterizan por tener una interfaz gráfica atractiva, fácil de entender y diligenciar, y con la posibilidad de recoger la mayor cantidad de datos posible del sistema; también debe permitir la fácil recuperación de la información (conjunto organizado de datos procesados) almacenada para la aplicación de los modelos matemáticos-estadísticos, o la simple acción de poder consultar el estado actual de los procesos por medio de informes gráficos o numéricos.

2) Modelo de gestión de base del sistema: contiene modelos cuantitativos, estadísticos, financieros y científicos que proveen capacidades analíticas al sistema. El propósito de este subsistema es transformar los datos del SGI en información que es útil en la toma de decisiones.

3) Sistema de generación de informes y selección de alternativas. También determinado como el sistema administrador del conocimiento. Este componente consiste en la entrega al usuario de las posibles alternativas para la solución del problema, que en sistemas especializados son ordenadas con base en criterios de análisis de sensibilidad, probabilidad y riesgo.

Dentro de la metodología de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones se encuentran los modelos de simulación, los cuales tienen como objetivo la simplificación de los fenómenos, al permitir entender el funcionamiento del sistema

y evaluar el efecto que tiene la modificación de los componentes en la respuesta animal (Keen, 1978; Palmer et al., 2001; Candelaria et al., 2011).

Para la elaboración de un modelo matemático es necesario ejecutar las siguientes fases (Linares et al., 2001, Dym, 2004):

- Identificación del problema: consiste en el conocimiento detallado de los componentes del proceso, lo cual permite definir relaciones entre los componentes de modo que se puedan identificar problemas o cuellos de botella y posibles soluciones.
- Estructura matemática y formulación: escritura matemática del problema de optimización, definiendo sus variables, sus ecuaciones, su función objetivo y sus parámetros.
- Prueba de solución: con base en la información existente del suceso a estudiar, se corre el modelo para obtener la solución numérica óptima y satisfactoria para la ecuación planteada en el algoritmo.
- Verificación, validación y ajuste: esta etapa consiste en la depuración y organización de los errores en la codificación, con el fin de que el modelo entregue una respuesta válida, acertada y acorde con los datos reales.
- Interpretación y análisis de los resultados: esta etapa permite conocer en detalle el comportamiento del modelo al hacer un análisis de sensibilidad en los parámetros de entrada, estudiar diferentes escenarios posibles de los parámetros, lo cual permite detectar soluciones alternativas y comprobar la eficiencia y eficacia de la solución del modelo.

La curva de crecimiento

El crecimiento se define como los cambios en la masa corporal de un ser vivo, es consecuencia directa de las relaciones anabólicas y catabólicas en el organismo, las cuales generan el aumento o pérdida de peso del individuo o de sus partes con

la edad (Karkach, 2006). Estos cambios en la ganancia de peso están condicionados por tendencias y fluctuaciones ambientales, factores genéticos, sanidad y de manejo entre otros (Zeide, 1993). La representación gráfica de estos cambios en el tiempo da origen a las curvas de crecimiento; las cuales, con la ayuda de funciones matemáticas, permiten medir y evaluar el incremento en la masa corporal en los animales de forma no invasiva. La información obtenida de estas funciones puede ser usada para identificar, controlar y/o modificar las condiciones que influyen en los cambios composicionales del animal y/o ganancia de peso (Oliveira et al., 2000; Malhado et al., 2007; Aggrey 2009).

En la mayoría de seres vivos, la curva de crecimiento tiene forma de S (curva sigmoidea), diferenciándose cuatro fases, al inicio se da un desarrollo exponencial donde la tasa de crecimiento es proporcional al peso y es definida como las fase exponencial; posteriormente se da un aumento lineal donde la relación del tiempo y del aumento del peso se corresponden en una relación de uno a uno, esta fase se define como de crecimiento lineal. Luego se desacelera la tasa de crecimiento, punto en el cual el animal se acerca a su peso máximo; Por último se inicia la disminución en el crecimiento o proceso de pérdida de peso. Estas dos últimas fases en conjunto se conocen como la etapa de senescencia de la curva de crecimiento (Karkach, 2006).

En algunas especies la fase lineal no se evidencia, por lo que las fases exponencial y de senescencia son casi continuas. De otra parte, es común encontrar curvas de crecimiento con la fase lineal más amplia debido a un extenso intervalo de tiempo para alcanzar el peso máximo, lo que muestra una tasa de aceleración menor. Estos individuos con tasas de aceleración bajas obtienen un peso maduro a una edad más avanzada (menor precocidad) (Karkach, 2006).

En las gallinas, generalmente la curva de crecimiento tienen una fase inicial de aceleración del crecimiento a partir de la eclosión, luego una fase lineal donde se

haya el punto de inflexión en que coincide con la tasa máxima de crecimiento, una fase donde la tasa de crecimiento se desacelera, y finalmente la curva llega al valor asintótico o peso maduro del ave (Roush y Branton, 2005).

- *Funciones utilizadas para evaluar el crecimiento en animales*

Una alternativa para el análisis y construcción de las curvas de crecimiento y/o de producción, es el uso de modelos matemáticos, los cuales son representaciones abstractas y simples de los cambios en los procesos de ganancia o pérdida del peso o de la respuesta productiva en un organismo vivo (Budimulyati et al., 2012; Parés-Casanova y Kucherova, 2014). Los modelos matemáticos se componen de ecuaciones y/o relaciones matemáticas que tratas de describir fenómenos biológicos como crecimiento, producción de huevos, incubación, digestión y absorción de nutrientes, utilizando variables cualitativas y/o cuantitativas para representar los factores que influencian el fenómeno (Rondón et al., 2002).

El uso de estos modelos para el entendimiento de los componentes biológicos sin ofrecer la ventaja de evaluar la respuesta de los animales ante cambios de las variables en estudio, sin incurrir en el sometimiento de los animales a factores que ocasiones afecciones físicas o económicas en el proceso investigativo, a este proceso se le denomina modelación. Esta metodología busca transformar conceptos y conocimientos en relaciones numéricas (ecuaciones matemáticas) y evaluarlas al ponerlas en práctica a través de procesos lógicos, simulando situaciones reales o ficticias y analizando sus efectos en los animales, todo lo anterior en un ambiente virtual como el computador (Rondón et al., 2002).

La modelación del desempeño de las características cualquier ser vivo es un proceso complejo debido que en algunos modelos los parámetros de difícil ajuste e interpretación biológica. Además, en la mayoría de los casos los fenómenos a modelar están influenciados por factores externos y por la variación de las

observaciones en el tiempo. También es necesario recordar la obligatoriedad del cumplimiento de supuestos estadísticos (normalidad, homogeneidad de varianzas, independencia de errores, entre otros) que le permitan al modelo tener valides estadística en sus predicciones. (Aggrey, 2002 y 2009). Por tales motivos, el desarrollo de modelos para el ajuste de cualquier serie de datos en el tiempo (crecimiento, producción), requiere una etapa de diseño y ajuste y una de validación (Rondón, 2002).

Los modelos matemáticos se han utilizado en la avicultura para el estudio de fenómenos a partir de su simplificación y caracterización, un ejemplo de ello es la construcción de modelos y curvas que relacionan la edad del ave con el peso, permitiendo estimar la edad a la cual un animal deja de crecer y cuando llega a su madurez. (Aggrey, 2002 y 2009; Agudelo et al., 2009)

Para evaluar el crecimiento en las aves se han utilizado distintos tipos de modelos, partiendo de regresión lineal simple o múltiple. Sin embargo, estas expresiones polinómicas se quedan cortas para ajustar los cambios de variables en el tiempo que tienen una distribución no linear (forma de S) y cuyos resultados no muestran una asíntota y los parámetros presentados en el modelo no tienen una interpretación biológica (Aggrey, 2002). Por lo anterior los modelos comúnmente utilizados para la descripción de las curvas de crecimiento son: el logístico (Agudelo 2008; Grossman y Bohren, 1985; Grossman et al., 1985), Gompertz (Anthony et al., 1991; Mignon-Grasteau et al., 2001), Gompertz modificado por Laird (Laird et al., 1965), Von Bertalanffy y Richards (Roush et al., 2005; Knizetova et al., 1991), Weibull (Schinckel et al., 2005), entre otros. Algunas de estas funciones son:

El modelo no lineal Brody (Brody, 1945),

$$y_t = \beta_0 * (1 - \beta_1 \exp^{(-\beta_2 * t_{ij})}) + \varepsilon_t$$

El modelo no lineal Logístico (Verhulst, 1938),

$$y_t = \beta_0 * (1 - \exp^{-\beta_1 * t_{ij}})^{-1} + \varepsilon_t$$

El modelo no lineal Gompertz (Aggrey, 2002),

$$y_t = \beta_0 * \exp^{-\beta_1 * \exp^{(-\beta_2 * t_{ij})}} + \varepsilon_t$$

El modelo no lineal Gompertz-Laird (Gompertz, 1925),

$$y_t = \beta_0 * \exp^{-\beta_1 * \exp^{(-\beta_2 * t_{ij})}} + \varepsilon_t$$

Modelo no lineal Von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938),

$$y_t = W_0 * \exp^{\left[\left(\frac{L}{\beta_2}\right)\left(1 - exp^{(-\beta_2 * t_{ij})}\right)\right]} + \varepsilon_t$$

Modelo no lineal Richards (Richards, 1959),

$$y_t = \beta_0 * (1 - \beta_1 * \exp^{(-\beta_2 * t_{ij})})^{-(1/m)} + \varepsilon_t$$

Estas ecuaciones de crecimiento pretenden estimar a Y_t, el cual expresa peso corporal del individuo en el tiempo t (edad del individuo); Además, presenta tres parámetros con interpretación biológica y una constante matemática.

El parámetro $\beta_0$hace referencia al peso asintótico cuando t tiende a infinito (máxima respuesta), representando la estimativa de peso a la madurez, independiente de fluctuaciones de peso debidas a efectos genéticos y ambientales (Agudelo et al., 2009) El parámetro β_2 definido como la tasa de crecimiento exponencial (aceleración o desaceleración de la curva de crecimiento) hace relación a la precocidad de madurez o tasa de madurez posnatal, determina la eficiencia del crecimiento de un animal. Aggrey (2002) propone que en cuanto mayor sea el valor de este parámetro más precoz es el animal, en tanto que valores más bajos indican madurez tardía, por tanto representa un indicador de la velocidad con que el animal se aproxima al peso adulto. El parámetro m hace referencia a la proporción del peso asintótico en que el punto de inflexión se produce, también se habla que es el parámetro que da forma a la curva. El parámetro $\beta_1$como valor de ajuste cuando

Y≠0 o t≠0, no posee significado biológico (Agudelo et al., 2009). Para el modelo de Gompertz-laird el parámetro W_0 hace referencia al peso inicial (al nacimiento) y L la tasa de crecimiento instantáneo (por día). Además encontramos constante de Napier (2.71828182846) exp y finalmente ε_t hace referencia al efecto residual.

Otras alternativas de modelación del crecimiento es la utilización de modelos mixtos (análisis de mediciones longitudinales de crecimiento), es importante por la posibilidad de poder cuantificar la variabilidad existente entre los animales y en cada animal, y por su capacidad para manejar datos desbalanceados debido a estructura flexible de covarianzas (Aggrey, 2009; Pinheiro y Bates, 1995). Otros aspectos de importancia del uso de modelos mixtos, es su gran flexibilidad y capacidad de ajuste con información con diferentes intervalos de tiempo entre mediciones. Lo que contrasta con la necesidad de un gran número de datos para que el modelo pueda predecir la variación de los individuos de forma más acertada. Otros autores han explorado otras opciones de modelación del crecimiento como redes neuronales artificiales (Roush et al., 2006), y algoritmos genéticos (Roush y Branton, 2005), entre otros.

La principal ventaja del uso de modelos es condensar una gran cantidad de datos en un número reducido de parámetros (tres o cuatro dependiendo del modelo) que tienen una interpretación biológica y que aportan información relevante para el análisis, interpretación, comprensión y proyección de las curvas en el tiempo (Oliveira et al., 2000).

Los modelos usados en el ajuste de las curvas de crecimiento permiten obtener resultados como alteraciones en el desarrollo normal de los individuos, predecir y comparar el crecimiento de animales de importancia económica, generar información para mejorar la toma de decisiones en el seguimiento y el control del crecimiento, estimación de los requerimientos nutricionales a diferentes edades, desarrollo de estrategias de mejora genética para modificar o cambiar la trayectoria

de crecimiento y otros aspectos de interés zootécnico como la identificación de la edad a la madurez sexual y su peso asintótico, entre otros. Estas funciones también permiten evaluar la respuesta a tratamientos a lo largo del tiempo, estudiar las interacciones de respuestas de las subpoblaciones o tratamientos con el tiempo identificar en una población los animales más precoces y de mayor rendimiento productivo y calcular la variabilidad en la respuesta productiva entre y dentro de individuos evaluados para el ajuste de la curva de crecimiento. (Hancock et al., 1995; Oliveira et al., 2000; Aggrey, 2002; Karkach, 2006; Rosário et al., 2007; Malhado, 2008; Budimulyati et al, 2012; Parés-Casanova y Kucherova, 2014)

Modelación dela curva de huevos

A diferencia de la curva de crecimiento, la curva de producción de huevos no presenta una fase de crecimiento gradual al inicio, de modo que desde el inicio de la producción al pico, formando una línea recta, tarda entre 5 a 9 semanas. Este periodo entre el inicio y el pico de producción y la edad en que las aves comienzan a producir huevos depende de su peso corporal, la homogeneidad del lote, el perfil nutricional de la dieta y la estimulación lumínica necesaria para que las aves alcancen la madurez sexual (Lacin et al., 2008; Abad, 2003) (Ahmadi y Golian, 2008). Al llegar al pico de producción inicia el período de persistencia que es definido como el número de semanas en que el nivel de producción es constante después del pico (Grossman et al., 2000). Por último, inicia la fase de disminución de producción que se extiende hasta la salida o descarte del lote del sistema productivo (North y Bell, 1990).

Generar información que permita tomar decisiones a partir de la obtención de los parámetros que ajusten la curva hace de la modelación de producción de huevos una metodología que cobra importancia. Con base en el modelo ajustado se puede definir y proyectar el estado productivo de un lote, permitiendo hacer planificaciones a partir del estado del mercado (oferta y demanda); además, programar el plan de

reemplazos, necesidades de alimento, insumos y talento humano, entre otros (Cason, 1990; Groen et al., 1998; Gavora et al., 1982).

La curva de producción de huevos ha sido modelada a partir de información (total o parcial) de la producción de huevos en periodos diarios o semanales (Miyoshi et al., 1996). Para ello se han probado diversos modelos como: funciones logísticas (Adams y Bell, 1980; Cason y Britton, 1988; Cason y Ware, 1990; Savegnago et al., 2011), funciones polinomiales (Bell y Adams, 1992), funciones exponenciales (Gavora et al., 1971; McNally, 1971; Foster et al., 1987; Cason y Britton, 1988), polinomios segmentados (Lokhorst, 1996; Narushin y Takama, 2003; Fialho y Ledur, 1997), modelos no lineales (Savegnago et al., 2011) y redes neuronales (Ahmadi y Golian, 2008). Además de los modelos anteriormente mencionados, se están explorando otras alternativas como la estadística Bayesiana (Orheruata et al., 2006) y redes neuronales artificiales (Roush et al., 2005 y 2006; Savegnago et al., 2011), entre otras.

Algunas de estas de las principales funciones usadas para la modelación de la curva de producción de huevos son:

Modelo de compartimientos o segmentos (McMillan et al., 1970):

$$\mathrm{N_i} = \mathrm{a} * \ \mathrm{exp}^{-\mathrm{b}*\mathrm{t}_i}(1 - \mathrm{c} * \mathrm{exp}^{-\mathrm{d}*\mathrm{t}_i})^{-1} + \ \varepsilon_\mathrm{i}$$

Modelo de doble compartimiento (McMillan et al., 1970):

$$\mathrm{N_i} = \mathrm{a} * \ (\mathrm{exp}^{-\mathrm{b}*\mathrm{t}_i} - \mathrm{exp}^{-\mathrm{c}*\mathrm{t}_i}) + \ \varepsilon_\mathrm{i}$$

Modelo Adams-Bell (Adams and Bell, 1980):

$$N_i = 100 * \left[\frac{1}{1 + a * b^{t_i}} - c * t_i + d\right] + \varepsilon_i$$

Modelo Lokhorst (Lokhorst, 1996):

$$N_i = \frac{100}{1 + a * r^{t_i}} - (b + c * t_i + d * {t_i}^2) + \varepsilon_i$$

Donde N_i es el porcentaje de producción o número de huevos a la i-ésima semana; los parámetros *a* y *b* le permiten al modelo ajustar el inicio de la producción; el periodo de tiempo entre el inicio de la producción y el punto máximo de la curva está influenciado por el parámetro *r.* La tasa de declinación del porcentaje de producción semanal de la curva después del punto máximo es determinada por el valor del parámetro c y la pendiente de decrecimiento final de la curva es establecida por el factor d. La variable t_i hace referencia la i-ésima edad del lote en semanas y ε_i se define como el efecto residual asociado al i-esimo tiempo.

Modelos nutricionales

Las necesidades de nutrientes de los animales pueden definirse como la cantidad de nutrientes requeridas para expresar el máximo potencial genético de un factor de producción. Para la definición de las necesidades nutricionales en los animales existen dos métodos de valoración: factorial y empírico (Pomar y Bailleul, 1999). Siendo el primero el resultado de una sumatoria de componentes, un ejemplo de esto es la valoración de la energía digestible (Energía digestible= energía bruta-energía en heces). Estas ecuaciones se obtienen a partir de la valoración en laboratorio dela cantidad de nutrientes en cada uno de los componentes de la ecuación.

El método empírico consiste en la estimación de las necesidades nutricionales a partir de la experimentación dosis-respuesta, donde se somete a un grupo de

animales a tratamientos nutricionales distintos niveles de nutriente (aumentos progresivos del nutriente bajo estudio) y se mide la respuesta para cada nivel evaluado. La información generada en estos ensayos se analiza con modelos de regresión lineal, estimando así la cantidad de nutriente óptima (requerimiento) que permita al animal expresar su máxima respuesta productiva (Rondón et al., 2002; Salvador y Guevara, 2013; Oviedo-Rondón y Waldroup, 2002) con el óptimo económico (formulación mínimo costo). La sensibilidad de estos análisis depende de la validación estadística de los modelos a partir del cumplimiento de supuestos y del análisis de varianza del modelo (Pesti et al., 2009).

El problema de esta metodología es que son muchos factores los que intervienen en el metabolismo de los animales y por ende en la variación de sus necesidades nutricionales. Por tal motivo se implementan los análisis multifactoriales, los cuales incluyen en s estructura múltiples factores que afectan los requerimientos tales como: condiciones ambientales, peso corporal, consumo de alimento, numero de huevos producidos, peso de los huevos, composición del huevo, ganancia de peso y mantenimiento, entre otros (Salvador y Guevara, 2013). El problema de estas metodologías es que el investigador debe seleccionar un diseño experimental acorde a la evaluación e implementar un modelo robusto para el análisis de los datos (Mehri, 2014), de lo contrario las estimaciones realizadas no tendrán validez suficiente.

El problema de los métodos lineales es que la relación dosis-respuesta en un ser vivo no es lineal, es decir que al inicio a medida que se aumenta la cantidad de un nutriente se eleva la respuesta productiva (relación lineal), hasta llegar a la dosis umbral o asintótica, punto en el que la respuesta productiva se estabiliza y por más que se incremente el nivel del nutriente l respuesta es proporcionalmente menor hasta el punto de no aumentar más y en algunos casos llegar a generar alteraciones por excesos (toxicidad) al superar el máximo de nutriente que el animal necesita.

Este comportamiento se conoce como Ley de los rendimientos decrecientes o Ley de disminución de la productividad marginal (Pesti et al., 2009).

Lo anterior resalta la necesidad de incluir modelos no lineales en la valoración de las necesidades nutricionales de un animal (Robbins et al., 1979). En tal sentido Hruby et al. (1996) recalcan la necesidad de utilizar metodologías para la descripción del crecimiento y la composición corporal mediante curvas de crecimiento como requisito para la evaluación precisa de las necesidades de nutrientes de las aves.

Autores como Nahashon et al. (2010) usaron el modelo Gompertz-laird para estimar los requerimientos de proteína cruda y energía metabolizable. Strathe (2011) y Khalaji et al., (2013) utilizaron modelos no lineales multivariados para evaluar los niveles de metionina digestible y fosforo, respectivamente. Hruby et al. (1996) evaluó las relaciones entre la temperatura y las necesidades de proteína con el uso de modelo Gompertz, logístico y polinomio de cuarto grado. Mehri (2014) uso redes neuronales artificiales para definir los requerimientos de metionina, lisina y treonina.

Otra alternativa se ha propuesto a partir del análisis de resultados de previas investigaciones, permitiendo integrar el conocimiento cuantitativo de múltiples estudios y se refiere como meta-análisis (St-Pierre, 2001). Esta metodología requiere de un diseño robusto para su análisis, debido a la variabilidad presente en los distintos estudios (tipo de animales, fuentes de nutrientes, sistemas de producción, entre otros), un ejemplo de ello es la evaluación realizada por Mehri (2014).

En conclusión el uso de modelos para el cálculo de requerimiento nutricionales permite optimizar las raciones, ofreciendo a los animales los niveles de nutrientes requeridos para obtener el máximo de la respuesta productiva propia de su potencial genético: Esta optimización con el uso de modelo no lineales puede representar una

disminución ente el 8-10% de los costos de producción (Hruby et al., 1996) y disminución en la generación de residuos ricos en nutrientes que pueden generar alteraciones o daños al ambiente (Gates et al., 2005).

Redes Neuronales Artificiales (RNA).

A nivel biológico las células nerviosas del cerebro, denominadas neuronas, se especializan en la recepción y transmisión de información; esto gracias a las interconexiones sinápticas entre las dendritas y axones de distintas neuronas. Este entramado da origen al diseño de las RNA, las cuales por medio de la inclusión de elementos que operan en paralelo, intentan imitar los procesos de aprendizaje y procesamiento automático que de forma natural se generan en los sistemas neuronales biológicos (Condori, 2008).

Los componentes básicos de la estructura de la RNA (figura 1), el valor de X_j hace referencia a la j-esima variable de interés o entrada de la neurona; W_i son los valores o pesos que tienen las interacciones de las variables con la neurona, es decir la fuerza o efectividad de la sinapsis. Los valores W_{ij} modelan las propiedades de las sinapsis y permiten que la neurona genere procesos de aprendizaje. Θ_i es una constante cuyo papel es el de activar la función de propagación, en muchos casos toma valores de 1 o -1 y es definido como Bias (b) o umbral.

Neurona o unidad de proceso *i*

Entradas

Sinapsis

Cuerpo celular

X_1 X_2 X_l X_n

w_{i1} w_{i2} w_{il} w_{in}

Función de transferencia

$\sum_{j=1}^{n} w_{ij}x_j$

Función de activación

$f\left(\sum_{j=1}^{n} w_{ij}x_j\right)$

Axón

Y_i

Salida

θ_i

Umbral

$Y_i = f\left(\sum w_{ij}\, x_j - \theta_i\right)$

Dendritas

Figura 2. Estructura y funcionamiento de una red neuronal artificial (RNA). Adaptado de Hagan 1996 y Haykin 2004.

La función de propagación (1) o entrada neta (u) es la suma producto de las entradas (X_i) y los pesos (W_{ij}), también denominado como el valor del potencial postsináptico de la neurona y a su vez es el valor de entrada para la función de activación y se calcula así:

$$u = \sum_{j=1}^{n} w_{ij} * x_j \qquad (1)$$

Por último, la salida de la neurona es y_i = *f*(u), donde *f*(u) es la función de transferencia o de activación, la cual transforma matemáticamente el resultado de la función de propagación y puede ser de carácter lineal o no lineal. Las funciones de activación más comúnmente utilizadas son:

Lineal – neta $\quad f(u) = W_{ij} * X_j + \theta_i$

Paso $\quad f(u) = \begin{cases} 0 \; si \; u_i \leq \emptyset_i \end{cases}$

Rampa – escalón $$f(u) = \begin{cases} 1\ si\ u_i > \emptyset_i \\ u_i\ si\ 0\ \leq u_i\ \leq 1 \\ \textit{0 si en otro caso} \end{cases}$$

Sigmoidea $$f(u) = \frac{1}{1 + exp^{\frac{-\mu_1}{\sigma}}}$$

Gaussiana $$f(u) = c * exp^{\frac{-\mu_1}{\sigma}}$$

La función lineal o identidad equivale a no aplicar función de salida, al dejar pasar sin modificar el resultado de la función de propagación. La función escalón es utilizada cuando las salidas de la red son binarias, esto permite que la neurona se active, las neuronas que utilizan esta función tienen capacidades limitadas en la predicción. La funciones gaussiana y sigmoidea son las más utilizadas cuando se trabaja con información análoga.

Las RNA son clasificadas según su topología o la estructura de sus conexiones, además se tiene en cuenta el número de capas, el tipo de las capas las cuales pueden ser ocultas o visibles, posición en la red de las capas ya sea de entrada o de salida y la direccionalidad de las conexiones de las neuronas, donde se pueden nombrar redes de tipo *Forward* o con conexiones hacia adelante, tales como: Perceptrón, Adaline, Madaline, Backpropagation y los modelos *Learning Vector Quantization* LQV y *Topology-Preserving Map* TMP de Kohonen. También están las redes Backward que poseen conexiones hacia atrás o retroalimentadas: Teoría de Resonancia Adaptiva (ART), Bidirectional Associative Memory (BAM) y Cognitron, entre otras.

Aprendizaje de la red

Es el proceso en el cual la red modifica los valores de sus pesos con base en la información de entrada y las interconexiones de la arquitectura de la red. Existen tres tipos de aprendizaje, el primero se define como *supervisado,* en este tipo de redes se cran patrones, es decir por cada valor calculado de la red existe un valor

real o deseado. De modo que la red se reestructura con base en la diferencia entre el valor predicho y el esperado.

El segundo tipo es el aprendizaje *no supervisado* en la que no existe un valor ideal y la red se restructura con plena libertad. Este tipo de redes reconocen patrones en los datos y por ende son muy utilizadas en problemas de clasificación o caracterización de componentes en la matriz de datos de entrada.

Finalmente, está el método de aprendizaje *por refuerzo*, en este a la red se le indica si las salidas que ha generado son correctas o incorrectas, y no el valor de salida deseado. Este método es útil en aquellos problemas en que no se conoce con exactitud el valor de la salida que debe estimar la red neuronal.

La comparación entre los valores estimados por la res y los deseados o reales da origen al criterio de ajuste, buscando la combinación de pesos que minimicen el valor obtenido en esta comparación, un primer acercamiento a este método es la regla delta o regla del mínimo error, así:

$$|d_i - y_i|$$

La regla delta es utilizada en redes tipo ADALINE y MEDALINE. Para incrementar la velocidad de convergencia a partir de la obtención de información del comportamiento del error durante todo el proceso de ajuste de la red se modifica la regla delta para la obtención de la Función de error global, la cual se expresa así:

$$E_p = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{p} e_i^2$$

$$e_i^2 = (d_i - y_i)^2$$

Donde d_i es el valor deseado de la redque se contrasta con el valor y_i que es estimado por el modelo neuronal. Para cada valor de d_i existe un valor de y_i, a cada pareja de estos valores se les denomina patrón (P).

La función de error es una función matemática definida en el espacio de pesos multidimensional para un conjunto de patrones dados. Normalmente la superficie tiene diversos mínimos (global y locales), el objetivo de la regla de aprendizaje es identificar el punto mínimo global sin quedarse en un mínimo local (falsa convergencia) a partir de los cambios generados en el vector de pesos de la red y la dirección generada por el gradiente.

Método del gradiente descendiente

Es un procedimiento iterativo busca minimizar la función del error moviéndose en la dirección opuesta al gradiente de dicha función en la superficie del error. Aunque la superficie de error no es conocida, este método consigue obtener información de dicha superficie a través del gradiente. Con esta información se decide qué dirección tomar para llegar hasta el mínimo global. Para encontrar la dirección del gradiente se utiliza la tendencia que indica el gradiente de la función de error con respecto al vector de pesos, así:

$$\nabla E = \left(\frac{\partial E}{\partial w_1}, \frac{\partial E}{\partial w_2}, \dots, \frac{\partial E}{\partial w_l}\right)$$

En una red con esta estructura

$$y_i(t) = f\left(\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}} w_{\mathrm{ij}}\,\mathrm{x_j} - \theta_i\right) \ , \forall i, 1 \leq i \leq m$$

La regla del descenso de gradiente será:

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}$$

η es la tasa de aprendizaje, la cual determina la magnitud de desplazamiento en la superficie del error.

Si se descompone $\frac{\partial E}{\partial w_{ij}}$ al aplicar la regla de la cadena se obtiene:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial e_i} \frac{\partial e_i}{\partial y_i} \frac{\partial y_i}{\partial net_i} \frac{\partial net_i}{\partial w_{ji}}$$

En esta ecuación la derivada del error con respecto a los cambios en los pesos se expresa en función de tres derivadas.

Al resolver cada una de las derivadas se obtiene:

$$\frac{\partial E}{\partial e_i} = e_i$$

$$\frac{\partial e_i}{\partial y_i} = -1$$

$$net_i = \sum_{j=1}^{p} w_{ij}\, y_i$$

$$\frac{\partial y_i}{\partial net_i} = f'(net_i)$$

$$\frac{\partial net_i}{\partial w_{ji}} = y_i$$

$$\boldsymbol{\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = -e_i\, f'(net_i)\, y_i}$$

$$\delta_i = -e_i\, f'(net_i)$$

$$\boldsymbol{\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \delta_i\ y_i}$$

Al reemplazar esta función en la ecuación de la regla delta, se obtiene la Regla delta generalizada:

$$\boldsymbol{\Delta w_{ij} = \eta\, \delta_i\ y_i}$$

La Regla Delta Generalizada o Backpropagation fue creada para generalizar la regla delta sobre redes neuronales de múltiples capas y funciones de transferencia no lineales y diferenciables. Donde el término Δw_{ij} hace referencia a los cambios en los pesos, η n es un parámetro estimado por la red definido como tasa de aprendizaje, δ_i es el gradiente local o la proporción del error que se transmite hacia atrás entre las conexiones de las neuronas, y y_i es la salida de la neurona *i*, que al hacer la retro propagación se convierte en la entrada de la neurona *j.*

Finalmente los cambios en los valores de los pesos quedan determinados con la ecuación:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ji}(t) + \Delta w_{ij}(t)$$

$w_{ij}(t+1)$ es el nuevo peso, $w_{ji}(t)$ peso anterior y $\Delta w_{ij}(t)$ es el cambio (incremento o descenso) en el valor del nuevo peso como consecuencia de la estimación realizada por la regla delta generalizada. Estas adecuaciones en los pesos en las iteraciones son las que permitan que la red aprenda y generalice ajustando su estructura para minimizar el error.

Una vez que ha terminado el proceso de aprendizaje y los pesos de la red neuronal han sido recalculados, es importante comprobar el grado de ajuste del modelo a los datos reales; para esto se utilizan las siguientes técnicas: R^2, Criterio de información de Akaike (AIC), Criterio de Información Bayesiano (BIC), media absoluta de la desviación de cada modelo, porcentaje de la media absoluta del error (MAPE), cuadrado medio del error (MSE), desviación estándar residual (RSD), entre otras. (Akaike, 1974; Schwarz, 1978; Ahmadi y Mottaghitalab, 2007; Roush et al., 2006; Wang y Zuidhof, 2004; Aggrey, 2002)

Dentro de las múltiples ventajas que presentan las RNA es de resaltar la capacidad de aprender a realizar tareas basadas en un entrenamiento o en una experiencia inicial denominada aprendizaje adaptativo, el cual puede ser o no supervisado por

el usuario, lo que permite que el modelo se ajuste a los datos reales. Este aprendizaje genera cambios de auto-organización, a través de la restructuración de los pesos (W_i) de las conexiones sinápticas, creando así su propia estructura a partir de los datos que recibe mediante una fase de auto-aprendizaje. Otro aspecto es su desempeño en la resolución de problemas no lineales, o que contiene datos que no aportan al ajuste del modelo “ruido”, y su facilidad de uso frente a datos que no cumplen con supuestos teóricos propios de las técnicas estadísticas paramétricas, por este motivo las RNA son conocidas como técnicas de distribución libre o no paramétricas (Pitarque, 2000). Por lo anterior, el uso de las RNA está asociado a problemas que no tienen una solución algorítmica o en el que el proceso para obtener una solución óptima requiere de grandes recursos de cálculo y de tiempo.

Las desventajas radican en la carencia de hardware que permita el trabajo de varias RNA en paralelo para lograr procesar múltiples pedazos de datos simultáneamente, aunque con el continuo avance de la tecnología está dejando de ser una desventaja a convertirse en un gran apoyo para la ejecución de redes neuronales más complejas. Otro problema es que las RNA trabajan como cajas negras y los componentes internos de los pesos y ecuaciones no tienen una interpretación biológica, y en muchos de los casos ni siquiera se pueden conocer.

En conclusión, las RNA presentan gran utilidad en aplicaciones como modelos de predicción, al ser tan eficientes como los modelos de lineales y no lineales para la predicción del crecimiento en pollas y producción de huevos (Ahmadi y Golian, 2008); además de ser utilizadas en problemas de clasificación, asociación, conceptualización y filtración de datos, con grandes fortalezas en la resolución de problemas de predicción en series de tiempo. (Taylor, 2006; Fernández, 2006).

Referencias

1. 1er Censo Nacional de Avicultura Industrial: Resultados 2002. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. [Fecha de acceso: May 15, 2014] URL: ftp://190.25.231.247/books/LD_00170_2002_EJ_5.PDF.
2. Abad M. 2003. Reproducción e incubación en avicultura. Real Escuela de Avicultura. 1ª ed. España. 2003.
3. Abelson RP, Levi A. Decision making and decision theory. The handbook of social psychology 1985; 1(3):231-309.
4. Adams CJ, Bell DD. Predicting Poultry egg production. Poult Sci 1980; 59:937–938
5. Aerts JM, Lippens M, De Groote G, Buyse J, Decuypere E, Vranken E, Berckmans D. Recursive prediction of broiler growth response to feed intake by using a time-variant parameter estimation method. Poult Sci 2003; 82:40–49
6. Aggrey SE. Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. Poult Sci 2002; 81:1782–1788
7. Aggrey SE. Logistic nonlinear mixed effects model for estimating growth parameters. Poult Sci 2009; 88:276–280.
8. Agudelo DG, Cerón MF, Restrepo LF. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. Rev Colomb Cienc Pecu 2008; 21:39-58
9. Ahmadi H, Golian A. Neural network model for egg production curve. Journal of animal and veterinary advances 2008; 7: 1168-1170. [20/08/2009] URL: http://medwelljournals.com/fulltext/java/2008/1168-1170.pdf
10. Ahmadi H, Mottaghitalab M. Hyperbolastic models as a new powerful tool to describe broiler growth kinetics. Poult Sci 2007; 86:2461–2465
11. Akaike H. A new look at the statistical model identification. IEEE Trans Autom Contr 1974; 19:716–723.

12. Anthony NB, Emmerson DA, Nestor KE, Bacon WL, Siegel PB, Dunnington EA. Comparison of growth curves of weight selected populations of turkeys, quail, and chickens. Poult Sci 1991; 70:13–19
13. Arsham, H. Herramientas para el Análisis de Decisión: Análisis de Decisiones Riesgosas. 2009 [Fecha ed acceso: May 15; 2014] URL:http://datateca.unad.edu.co/contenidos/200608/200608%20DOCUMENTOS%202013%20II/HERRAMIETAS_PARA_EL_ANALISIS_DE_DECISION.pdf
14. Bell D, Douglas R K. Effect of beak-trimming age and high fiber grower diets on layer performance. Poult sci, 1991; 70(5): 1105-1112.
15. Bell DD, Adams CJ. First and second cycle egg production characteristics in commercial table egg flocks. Poult Sci 1992; 71:448–459.
16. Borges SA, Fischer Av, Maiorka A. Acid-base balance in broilers. World's Poult Sci 2007; 63: 73-81
17. Budimulyati LS, Noor RR, Saefuddin A, Talib C. Comparison on accuracy of logistic, gompertz and von bertalanffy models in predicting growth of new born calf until first mating of holstein friesian heifers. J Indones Trop Anim Agric. 2012; 37(3): p. 151-160.
18. Candelaria MB, Ruiz RO, Gallardo LF, Pérez HP, Martínez BÁ, Vargas VL. Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. Tropical and subtropical agroecosystems 2011; 14(3):999-1010.
19. Carrizo J, y Lozano JM. Alimentación de las pollitas e inicio de puesta. XXIII Curso de especialización FEDNA, Madrid- España. 2007 [Fecha acceso: May 15; 2014] URL:http://produccionbovina.com/produccion_aves/produccion_avicola/71-07CAP_V.pdf
20. Cason JA, Britton WM. Comparison of compartmental and Adams-Bell models of poultry egg production. Poult Sci 1988; 67:213–218.

21. Cason JA, Ware GO. Analysis of flock egg production curves using generalized growth functions. Poult Sci 1990; 69:1064–1069.
22. Cason JA. Comparison of linear and curvilinear decreasing terms in logistic flock egg production models. Poult Sci 1990; 69:1467–1470.
23. Castelló JA, Pontes M, Franco F. Producción de huevos. Real Escuela Oficial y Superior de Avicultura, Arenys de Mar, Barcelona. 1989.
24. Cavalchini L G, Cerolini S, Mariani R. Environmental influences on laying hens production. Options Méditerranéennes, Ser. A. 1990; 7:153-172.
25. Condori NT. Aplicaciones de la inteligencia artificial en problemas de producción. Rev Información, Tecnología y Sociedad. 2008; 43.
26. Dennis, L R, Heng W C. A comparison of infrared and hot blade beak trimming in laying hens. Inter J Poul Sci, 2010; 9.8: 716-719.
27. Druzdel MJ, Flynn RR. Decision Support Systems. (A. Kent, Ed.) Encyclopedia of Library and Information Science. University of Pittsburgh. 2002 [Fecha de acceso: May 15; 2014] URL:www.pitt.edu/~druzdzel/psfiles/dss.pdf
28. Duncan I J H, Slee G S, Seawright E, Breward J. Behavioural consequences of partial beak amputation (beak trimming) in poultry. British Poult Sci, 1989; 30(3), 479-488.
29. Dym, C. Principles of mathematical modeling. Academic press. 2004.
30. Ellis JL, Kebreab E, Odongo NE, Beauchemin K, McGinn S, Nkrumah JD, et al. Modeling methane production from beef cattle using linear. J Anim Sci. 2009; 87: p. 1334–1345.
31. FENAVI, Estadísticas producción de huevos. 2009. [Fecha de acceso: May 15, 2014] URL: http://www.fenavi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2472&Itemid=1330
32. Fernández C, Soria E, Martín JD, Serrano AJ. Neural networks for animal science applications: Two case studies. Expert Systems with Applications. 2006; 31: 444–450

33. Fialho FB, Ledur MC. Segmented polynomial model for estimation of egg production curves in laying hens. British Poult Sci 1997; 38: 66 - 73
34. Flores A. Programas de alimentación en avicultura: ponedoras comerciales. X Curso de Especialización Fedna, Madrid- España. 1994. [Fecha de acceso: May 15; 2014] URL: http://portal.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Alimentaci%C3%B3n__Gallinas_Ponedoras.pdf
35. Gates R S, Xin H, Casey K D, Liang Y, Wheeler E F. Method for measuring ammonia emissions from poultry houses. The Journal of Applied Poultry Research 2005; 14(3):622-634.
36. Gavora JS, Liljedahl LE, McMillan I, Ahlen K. Comparison of three mathematical models of egg production. Br. Poult. Sci. 1982; 23:339–348.
37. Grossman M., Gossman TN, Koops WJ. A model for persistency of egg production. Poult Sci 2000; 79(12):1715-1724
38. Grossman M; Bohren BB. Logistic growth curve of chickens: heritability of parameters. The Journal of Heredity 1985; 76:459–462
39. Grossman M; Bohren BB; Anderson VL. Logistic growth curve of chickens: a comparison of techniques to estimate parameters. The Journal of Heredity 1985; 76, 397–399
40. Guesdon V, Ahmed A M H, Mallet S, Faure J M, Nys Y. Effects of beak trimming and cage design on laying hen performance and egg quality. British Poult Sci, 2006; 47(1), 1-12.
41. Hadorn R, Gloor A, Wiedmer H. Effect of beak trimming on brown growing pullets and laying hens. Agrarforschung, 2000; 7(2): 62-67.
42. Hagan MT, Demuth HB, Beale MH. Neural network design. Boston: Pws. 1996
43. Hancock CE, Bradford GD, Emmans GC, Gous RM. The evaluation of the growth parameters of six strains of commercial broiler chickens. British Poult Sci 1995; 36(2): p. 247-264.
44. Haykin S, Network N. A comprehensive foundation. Neural Networks 2004;2

45. Hendrix Genetics. Hisex Brown 2006.

46. Holt PS, Davies RH, Dewulf J, Gast RK, Huwe JK, Jones DR, Waltman D, Willian KR. The impact of different housing systems on egg safety and quality. Poult Sci 2011; 90:251–262

47. Hruby M, Hamre M L, Coon C N. Non-Linear and Linear Function in Body Protein Growth. The Journal of Applied Poultry Research. 1996; 5(2):109-115.

48. Hy-line International. Hy-line Brown Guía de manejo 2005-2007. Estados Unidos de América. Febrero 2006.

49. Hy-line International. Hy-line W-36 Guía de manejo 2003-2005. Estados Unidos de América. Enero 2003.

50. ICA. Registro de productos para aves reproductoras y de primera generación 2009; [Fecha de acceso: May 15, 2014] URL: http://www.ica.gov.co/getdoc/252a480c-ba9f-4ae9-a833-4cdeffd2f4a8/Reg_productos_aves_reproductoras_julio10.aspx

51. Karkach AS. Trajectories and models of individual growth. Demographic research. 2006; 15: p. 347-400.

52. Keen PG, Morton MS. Decision support systems: an organizational perspective. Reading, MA: Addison-Wesley. 1978; 35:19-30.

53. Khalaji S., Naderi, A H, Mousavi S N, Zaghari M, Malakzadegan A. Determination of phosphorus requirement for post molted laying hens using nonlinear and multivariate nonlinear mixed effects models. The Journal of Poultry Science. 2014; 51 (1):22-28

54. Knizetova H, Hyanek J, Knize B, Roubicek J. Analysis of growth curves of fowl. I. Chickens. British Poult Sci 1991; 32:1027–1038

55. Lacin, E., A. Yildiz, N. Esenbuga, and M. Macit. Effects of differences in the initial body weight of groups on laying performance and egg quality parameters of Lohmann laying hens. Czech J Anim Sci 2008; 53: 466-471.

56. Laird AK, Tyler SA, Barton AD. Dynamics of normal growth. Growth 1965; 29: 233-248.

57. Lemus C A, y Ardón L A. Efecto del uso de perchas, despique y densidad durante la etapa de levante sobre la productividad en gallinas ponedoras Leghorn Blanco de la Línea Hy-Line W-98® desde las 18 hasta las 32 semanas de edad. Tesis. Universidad Zamorano, Honduras, 2009. [Fecha de acceso: Ene 20; 2015] URL: http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/433/1/T2887.pdf
58. Lewis PD, Morris TR, Perry GC. Light intensity and age at first egg in pullets. Poult Sci 1999; 78:1227–1231
59. Lien RJ, Hess JB, McKee SR, Bilgili SF. Effect of light intensity on live performance and processing characteristics of broilers. Poult Sci 2008; 87:853–857
60. Linares P, Ramos A, Sánchez P, A. Sarabia y B. Vitoriano. 2001. Modelos matemáticos de optimización. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad pontificia de Comillas-Madrid, España. 2001
61. Lohmann. 2005. Lohmann Brown-Classic. Layer Managment Guide. Alemania.
62. Lohmann. 2006. Lohmann LSL-Classic. Layer Managment Guide. Alemania.
63. Lohmann. 2007. Ponedora Programa de Manejo Lohmann Brown.
64. Lokhorst C. Mathematical curves for the description of input and output variables of the daily production process in aviary housing systems for laying hens. Poult Sci 1996; 75:838–848.
65. Mashaly M, Hendricks GL, Kalama MA, Gehad AE, Abbas AO, Patterson PH. Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. Poult Sci 2004; 83:889–894
66. McNally DH. Mathematical model for poultry egg production. Biometrics 1971; 27:737–738.
67. Mehri M. Optimization of response surface and neural network models in conjugation with desirability function for estimation of nutritional needs of methionine, lysine, and threonine in broiler chickens. Poult sci. 2014; 93(7):1862-1867.

68. Mignon-Grasteau S, Beaumont C, Ricard FH. Genetic analysis of a selection experiment on the growth curve of chickens. Poult Sci 2001; 80:849–854

69. Nahashon S N, Aggrey S E, Adefope N A, Amenyenu A, Wright D. Gompertz-Laird model prediction of optimum utilization of crude protein and metabolizable energy by French guinea fowl broilers. Poult sci. 2010; 89(1):52-57.

70. Newman S, Lynch T, Plummer AA. Success and failure of decision support systems: Learning as we go. Journal of Anim Sci 2000; 77:Supl.1-12.

71. North MO, Bell DD. Commercial chicken production manual. AVI Publishing Inc, New York, USA. 1990.

72. Oliveira HN, Barbosa RL, Pereira CS. Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça guzerá. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 2000; 35(9): p. 1843-1851.

73. Orheruata AM, Vaikosen SE, Alufohia G, Okagbare GO. Modeling growth response of broiler chicken to feed consumption using linear data based model structure. International Journal of Poult Sci 2006; 5(5): 453-456

74. Oviedo ER. Optimización de la producción Avícola por medio de Modelos Matemáticos. Industria Avícola Watt Publishing. 2002; 49(6): 32-36.

75. Oviedo-Rondón E O, Waldroup P W. Models to estimate amino acid requirements for broiler chickens: a review. International Journal poult sci. 2002; 1(5): 106-113.

76. Palmer A, Montaño J, Jiménez R. Tutorial sobre redes neuronales artificiales: el perceptrón multicapa. Rev electrónica de psicología 2001; 5(2).

77. Parés-Casanova PM, Kucherova I. Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en la cabra catalana. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. 2014; 25(3): p. 390-398.

78. Pesti G M, Vedenov D, Cason J A, Billard L. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. British poult sci. 2009; 50(1): 16-32.

79. Pitarque A, Ruiz JC, Roy JF. Las redes neuronales como herramientas estadísticas no paramétricas de clasificación. Psicothema 2000; 12, Supl 2:459-463.
80. Pizzolante C, Garcia E A, Saldanha E S P B, Laganá C, Faitarone A B G, Souza H B A, Pelicia K.). Beak trimming methods and their effect on the performance and egg quality of Japanese quails (Coturnix japonica) during lay. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 2007; 9(1), 17-21.
81. Plazas RAS, Ávila V D. Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción. Revista Colombiana de Ciencia Animal. 2011; 4(1).
82. Pomar C, Bailleul P D. Determinación de las necesidades nutricionales de los cerdos de engorde: límites de los métodos actuales. XV Curso de especialización avances en nutrición y alimentación animal. Madrid, España: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 1999; 301, 253-276.
83. Renema RA, Robinson FE, Feddes JR, Fasenko GM, Zuidhof M J. Effects of Light Intensity from Photostimulation in Four Strains of Commercial Egg Layers: 2. Egg Production Parameters. Poult Sci 2001; 80:1121–1131
84. Renema RA, Robinson FE. Effects of Light Intensity from Photostimulation in Four Strains of Commercial Egg Layers: 1. Ovarian Morphology and Carcass Parameters. Poult Sci 2001; 80:1112–1120
85. Robbins K R, Norton H W, Baker D H. Estimation of nutrient requirements from growth data. The Journal of nutrition. 1979; 109(10):1710-1714.
86. Rondón E O, Murakami A E, Sakaguti E S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. Revista Brasileira de Ciência Avícola. 2002; 4(1):00-00.
87. Rondón, E. O. O., A. E. Murakami, and E. S. Sakaguti. 2002. Computer modeling for poultry production and research." Revista Brasileira de Ciência Avícola 4.1: 00-00.

88. Rosário MF, Silva MAN, Coelho AAD. Estimating and predicting feed conversion in broiler chickens by modeling covariance structure. International Journal of Poultry Science. 2007; 6(7): p. 508-514.
89. Roush WB, Branton SL. A comparison of fitting growth models with a genetic algorithm and nonlinear regression. Poult Sci 2005; 84:494–502
90. Roush WB, Dozier WA, Branton SL. Comparison of gompertz and neural network models of broiler growth. Poult Sci 2006; 85:794–797
91. Rozenboim I, Biran I, Uni Z, Robinzon B, Halevy O. The effect of monochromatic light on broiler growth and development. Poult Sci 1999; 78:135–138
92. Rozenboim I, Tako E, Gal-Garber O, Proudman JA, Uni Z. The effect of heat stress on ovarian function of laying hens. Poult Sci 2007; 86:1760–1765
93. Ruíz A, Hernández LA, Giraldo WJ. Aplicación de los sistemas de soporte a la decisión (DSS) en el comercio electrónico. Revista Ingeniería e Investigación. 2009; 29(2):94-99
94. Salvador E, Guevara V. Desarrollo y validación de un modelo de predicción del requerimiento óptimo de aminoácidos esenciales y del comportamiento productivo en ponedoras comerciales. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. 2013; 24(3): 264-276.
95. Santomá G, Pontes M. Influencia del alojamiento sobre la nutrición de aves y cerdos. XXII curso de especialización FEDNA, Barcelona – España. 2006 [Fecha de acceso: May 15; 2014] URL:http://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/wpsa1164026187a.pdf
96. Santomá G, Pontes M. Interacción nutrición-manejo en explotaciones para aves y porcino. 1. introducción y factores ambientales. XX curso de especialización FEDNA, ISBN 84-609-3256-7, Barcelona – España. 2004 [Fecha de acceso: May 15; 2014] URL: http://fundacionfedna.org/sites/default/files/04CAP_8.pdf
97. Savegnago RP, Nunes BN, Caetano SL, Ferraudo AS, Schmidt GS, Ledur MC, Munari DP. Comparison of logistic and neural network models to fit to

the egg production curve of White Leghorn hens. Poult Sci 2011; 90(3):705-711.

98. Schinckel AP, Adeola O, Einstein ME. Evaluation of alternative nonlinear mixed effects models of duck growth. Poult Sci 2005; 84:256–264

99. Schwarz, G. Estimating the dimension of a model. The annals of statistics 1978; 6(2):461-464.

100. St-Pierre N R. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. J. Dairy Sci. 2001; 84:741–755.

101. Strathe A B, Lemme A, Htoo J K, Kebreab E. Estimating digestible methionine requirements for laying hens using multivariate nonlinear mixed effect models. Poult sci. 2011; 90(7):1496-1507.

102. Strathe AB, Danfær A, Sørensen H, Kebreab E. A multilevel nonlinear mixed-effects approach to model growth pigs. J Anim Sci. 2010; 88: p. 638-649.

103. Summers JD, Leeson S. Influence of diets varying in nutrient density on the development and reproductive performance of White Leghorn pullets. Poult Sci 1993; 72:1500–1509

104. Taylor BJ. Methods and procedures for the verification and validation of artificial neural networks. Springer. 2006

105. Thiele HH, Pottgüter R. Management recommendations for laying hens in deep litter, perchery and free range systems. Lohmann Tierzucht GmbH, Cuxhaven, Germany. Lohman information 2008; 43(1):53-63.

106. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). 2008. Tipos genéticos utilizados en avicultura. [Fecha de acceso: May 14, 2014] URL: http://ocw.upm.es/produccion-animal/produccion-avicola/contenidos/TEMA_5/tipos-geneticos-utilizados-en-avicultura/view.

107. Van Horne P L M, y Achterbosch T J. Animal welfare in poultry production systems: impact of EU standards on world trade. World's Poultry Science Journal. 2008; 64 (1): 40-52.

108. Vedenov D, Presti GM. A comparison of methods of fitting several models to nutritional response data. J Anim Sci. 2008; 86(2): p. 500-507.

109. Wadsworth, J. Análisis de Sistemas de Producción Animal - Tomo 2: las Herramientas Básicas. (Estudio FAO Producción y Sanidad Animal 140/2). 1997. [Fecha de acceso: May 15; 2014] URL:http://www.fao.org/docrep/W7452S/w7452s00.htm#Contents

110. Wang Z, Zuidhof MJ. Estimation of Growth Parameters Using a Nonlinear Mixed Gompertz Model. Poult Sci 2004; 83:847–852

111. Zeide B. Analysis of growth equations. Forest science. 1993; 39(3): p. 594-616.

112. Zullinger EM, Ricklefs RE, Redford KH, Georgina MM. Fitting sigmoidal equations to mammalian growth curves. Journal of Mammalogy. 1984: p. 607-636.

Capítulo 1. Capacidade de modelos mistos não lineares para prever o crescimento em galinhas poedeiras

Este artículo obedece al desarrollo de los objetivos específicos:

- Establecer el modelo que mejor ajusta la curva de crecimiento y el desarrollo del ave de postura.
- Diseñar y evaluar un sistema de información de apoyo a la toma de decisiones para sistemas de producción avícola de huevo comercial.

En este artículo se logra probar e identificar un modelo que ajuste la curva de crecimiento de las aves bajo las condiciones del Sistema de producción de la Hacienda la Montaña de la Universidad de Antioquia. Estos modelos probados son la plataforma teórica para su utilización en la construcción del Sistema de apoyo para la toma de decisiones para la avicultura.

Este artículo fue aceptado para publicación en la revista Brasilera de Zootecnia perteneciente a la Sociedade Brasileira de Zootecnia, se anexa la comunicación de aceptación para publicación (Anexo 1) y el formato para la elaboración de los articulos de la revista (Anexo 2).

Capacidade de modelos mistos não lineares para prever o crescimento em galinhas poedeiras

Ability of non-linear mixed models to predict growth in laying hens

ABSTRACT

In this study, Von Bertalanffy, Richards, Gompertz, Brody, and Logistics non-linear mixed regression models were compared for their ability to estimate the growth curve in commercial laying hens. Data were obtained from 100 white laying hens, Lohmann LSL layers. The animals were identified and then weighed weekly from day 20 after hatch until they were 553 days of age. All the nonlinear models used were transformed into mixed models by the inclusion of random parameters. Accuracy of the models was determined by the Akaike and Bayesian information criteria (AIC and BIC, respectively), and the correlation values. According to AIC, BIC, and correlation values, the best fit for modeling the growth curve of the birds was obtained with: Gompertz, followed by Richards, and then by Von Bertalanffy models. The Brody and Logistic models did not fit the data. The Gompertz nonlinear mixed model showed the best goodness of fit for the data set, and is considered the model of choice to describe and predict the growth curve of Lohmann LSL commercial layers at the production system of the University of Antioquia.

Key words: chickens, mathematical models, poultry, regression analysis, weight gain.

INTRODUCTION

Growth can be defined as the increase in body weight or body parts with age. This process is influenced by genetic and environmental conditions. A common practice in poultry production is to measure the increase in body mass of birds to control and modify the external conditions that affect their weight gain (Oliveira et al., 2000; Agudelo et al., 2008; Aggrey, 2009).

Mathematical models have been applied to poultry production for the study of performance events through their simplification and characterization. An example is the construction of curve fitting models that relate the age of the bird with its weight, also to estimate the age at which the animal stops growing, when it reaches sexual maturity, and characterize the different phases of growth in the organism under study (Galeano-Vasco and Cerón-Muñoz, 2013; Grossman et al., 1985; Grossman and Koops, 1988; Laird, 1965).

The modeling of growth performance in laying hens is an elaborate process due to the use of parameters which are difficult to interpret from a biological perspective, and difficulty of predict the events that are influenced by the variation of the observations in time (Galeano-Vasco et al., 2013; Aggrey, 2002; Aggrey, 2009).

An alternative is the use of nonlinear mixed models, these models include the fixed effects, that referencing to the population mean of the parameter and random effects that indicate the differences between the mean value of the parameter and the adjusted value for each individual (Wang and Zuidhof, 2004). Therefore, applying mixed models to longitudinal measurements of growth allows quantifying the variability between animals and in each animal. Other advantages of these models is that they can handle unbalanced data and have flexible covariance structure (Aggrey, 2009; Pinheiro and Bates, 1995), because in the animal investigation is common to have data with dependence structures, missing values and lack of normality.

The current study was designed to compare Von Bertalanffy, Richards, Gompertz, Brody and Logistics non-linear regression models for their ability to estimate the growth curve in hens. The models were modified to include random effects (mixed models). We used weight records from Lohmann LSL layers obtained in a commercial-egg farm in Antioquia, Colombia.

MATERIALS AND METHODS

Data

The data used in this study was obtained from 100 Lohmann LSL hens, randomly selected from a flock of birds located in the "Hacienda La Montaña", University of Antioquia, located in the municipality of San Pedro de los Milagros (Antioquia) at 6° 19'19" north latitude and 1°37'40" west longitude. With a height of 2,350 m above sea level and an average outdoor temperature of 15°C with a maximum temperature of 22°C and a minimum temperature of 7°C.

From 0 to 13 weeks of age birds were reared in floor and then moved into cages which housed 4 birds.cage^{-1} (cage floor area per hen 730 cm^2). The birds were identified, and then weighed individually from day 20 after hatching until the 553 days of age. From 0-2 wk, all birds received a starter diet followed by grower diet which was fed to 9 weeks of age. The developer and layer diets were fed from 10-16 and 17-80 wk of age, respectively. The nutritional composition of diets is shown in Table 1. The chickens consumed fresh and purified water ad libitum at all times. Supplemental heating was provided from 0-6 weeks after which there was no environmental control. All birds were housed in open houses.

Models

The five nonlinear models used for the analysis of growth curves were adapted to mixed models, with the inclusion of random parameters:

(1) Brody (Brody, 1945):

$$y_{ij} = (\beta_0 + b_{0i}) * (1 - \beta_1 \exp^{(\beta_2 + b_{2i}) * t_{ij}}) + \varepsilon_{ij}$$

(2) Logistic (Verhulst, 1938):

$$y_{ij} = (\beta_0 + b_{0i}) * (1 - \exp^{-\beta_1 * t_{ij}})^{-1} + \varepsilon_{ij}$$

(3) Gompertz (Gompertz, 1825):

$$y_{ij} = (\beta_0 + b_{0i}) * \exp^{-\beta_1 * \exp^{(-\beta_2 + b_{2i}) * t_{ij}}} + \varepsilon_{ij}$$

(4) Von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938):

$$y_{ij} = (\beta_0 + b_{0i}) * (1 - \beta_1 * \exp^{(-\beta_2 + b_{2i}) * t_{ij}})^3 + \varepsilon_{ij}$$

(5) Richards (Richards, 1959):

$$y_{ij} = (\beta_0 + b_{0i}) * (1 - \beta_1 * \exp^{(-\beta_2 + b_{2i}) * t_{ij}})^{-(1/m)} + \varepsilon_{ij}$$

Where, y_{ij}: body weight (g) of the i-th bird in the j-th time; t: time, age in days; β_0: Fixed component of the model, associated with the asymptotic weight when t tends to infinity (percentage of maturity with respect to adult weight); β_1: Fixed component of the model, defined as the adjusting parameter when Y ≠ 0 or t ≠ 0; β_2: Fixed component of the model, representing the maturity index expressed as a proportion of the percentage of maximum growth with regard to the adult weight of the bird; b_{0i} and b_{2i}: Random effects associated with the β_1 and β_2 fixed effects which in turn define the variance and covariance of the observations for each fixed effect for the ith bird; m: asymptotic weight proportion corresponding to the inflexion point; and ε_{ij}: residual effect associated with the i-th bird for the j-th time.

The residue and the random effects were assumed to be independent and normally distributed with mean zero and constant variance.

$$\varepsilon \sim N\,(0, \sigma_e^2) \;\text{ and }\; \begin{bmatrix} b_0 \\ b_2 \end{bmatrix} \sim N \left[\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sigma_{b_{0i}}^2 & 0 \\ \sigma_{b_{02}} & \sigma_{b_{2i}}^2 \end{bmatrix} \right]$$

Statistical Analysis

The models were compared using log maximum likelihood (-2 Log L), Akaike information criterion (AIC) (Akaike, 1974), and Bayesian information criterion (BIC) (Schwarz, 1978). Lowest AIC and BIC values indicate a better model fit to the original data. A graphic analysis growth plots were conducted, and the correlation between observed and predicted data was obtained with the Pearson method. For data analysis and models programming NLMIXED procedures of SAS 9.0 were used (SAS Institute, 2010).

RESULTS AND DISCUSSION

The body weight data used to model the growth curve with the nonlinear mixed models appear in table 2. From this information we calculated the weight gain (body weight $week_{n+1}$ - body weight $week_n$). The differences in average daily feed intake ($g.hen^{-1}$ per day) and the amount of food recommended by the guide Lohmann LSL management. The average daily feed intake between weeks 3-10 was 3.67 g higher than the average level recommended by the guide. This effect was greater between weeks 8 and 10 (5.6 $g.hen^{-1}$ $.day^{-1}$), with an average gain of 80 $g.week^{-1}$, presenting a peak increase in weight at week 7 (122.7 g) (Table 3).

The purpose of providing more food in these weeks was to Increase the weight of the birds before they were moved to the cages. Between weeks 14 to 17, was observed a decrease of 1.53 g to below average 71.4 g of food intake recommended by the management guide, as a result of adaptation of the bird to the cage, the drinking system, feeders and social interactions with other birds. A similar trend occurred in the weight gain from 153 to 74.65 $g.week^{-1}$ at this same time period.

The greatest average weight gains were observed between week 14 and 23, reaching a maximum weight gain of 163 g (average per hen) at 144 days (20.6 weeks). Previous reports (Grossman and Koops, 1988; Kwakkel et al., 1993) indicate that the increase in the bird's weight is associated with sexual maturity and precedes the onset of egg production cycle of the bird, and is also defined as the third phase of growth. Weeks 18 thru 20 showed an increase in the average level of feed intake (87 g), which could have an effect on the increasing weight gain of birds from 74.65 to 147.5 $g.week^{-1}$ in the period mentioned. Following this plan, food restriction was applied between weeks 22 to 27 reaching 113.3 $g.hen^{-1}.day^{-1}$ at week 28 (1.3 g above the theoretical consumption). From week 28 to 80, the average consumption per bird day was 2.4 g more than recommended by the management guide throughout the period and weight gain was stabilized in an average of 0.6 $g.week^{-1}$.

The Gompertz model had the best fit for modeling the growth curve of the birds, according to AIC and BIC (Table 4). In a descending order, models were ranked as follows: Gompertz, Richards, and Von Bertalanffy. The Pearson's correlation coefficients were greater than 0.957 for the three models, indicating good fit and high ability to predict weight gain during the rearing, growing, and laying periods. The Brody and Logistic models did not fit the growth curve, so they were not considered in the results.

The graphs of the residuals showed that all models underestimate weight from days 100 to 150, a period that coincided with the onset of laying, indicating changes in body weight of birds that models did not estimate (Fig. 1).

The β_0 value of the parameters estimated by Richards and Gompertz models was over 1,500 to 1,600 g, which is the weight range proposed by Lohmann® (Table 5). The β_0 estimation by Von Bertalanffy was below the weight range. The estimation and analysis of the asymptotic weight is essential to evaluate and project the flock efficiency, as underweight animals have delayed onset of sexual maturity and tend to lay fewer eggs (Kirikçi et al., 2007).

According to Gompertz, weight at the inflection point ($Y_i=\beta_0/e$) was 610.85 g, reached at 59 days of age. The weight proportion at the inflection point with respect to the asymptotic weight (Y_i/β_0) was 36.79%, confirming that Gompertz model has a fixed inflection point at 37% of the asymptotic weight, as stated by Tabatabai et al. (2005).

When parameter m is equal to one in the Gompertz and Richards models, the inflection point is at the same place (Nahashon et al., 2006). Parameter m value was 2.29E-03, so the inflection point by both models differed. For the Richards model, weight at the inflection point was 623.53 gr ($Y_i=\beta_0/(m+1)^{(1/m)}$) at 61 days of age. Therefore, Gompertz and Richards models placed the inflection point between weeks 8 and 9 of the bird age.

With regard to growth, birds reached 89% of the asymptotic weight ($\bar{x}$=1403 ± 118.7 g) at 133 days of age, and 94% ($\bar{x}$=1553 ± 98.8 g) at 144 days. Therefore, the estimated weight of the birds was 90% of the adult weight at 140 days (starting production or sexual maturity). A goal in raising laying hens is to avoid early maturity (before 18 weeks) because under such circumstances precocious birds tend to lay low-weight eggs (Dunnington and Siegel, 1984). In addition to weight, other factors such as feed management, nutrients intake, and the lighting program (duration of photo-stimulation and light intensity) affect the age at which birds reach sexual maturity (Joseph et al., 2003).

Gompertz and Richards models share a similar pattern throughout the curve. As reported by Oliveira (2000), both models fit well the initial weights. On the other hand, parameters generated by the Von Bertalanffy model were skewed until day 224 and thereafter their trend was similar to the other models. Two graphs are plotted for the expected growth projection based on the information generated by the Gompertz-Laird model. In the first graph, the ideal weights should fall between the purple lines, tending to fit the average -demarcated by the blue line (Fig. 1). The weight dispersion of the population, assigning them to one of three ranges created based on increases of one, two, or three standard deviations from the mean (Fig. 2).

These graphical models allow evaluating the physical development of Lohmann LSL flocks at the farm of the University of Antioquia, as they correspond to the response of the birds under the conditions of that production system.

CONCLUSIONS

The Gompertz and Richards models can be used to estimate bird weights for Lohmann LSL hens by projecting growth curves. The determining factor for selecting the Gompertz model as the best is that it has fewer parameters to estimate than the model Richards, facilitating the processes of estimation and model derivative. The Logistic, Brody, and Von Bertalanffy models had flaws in the process of convergence and fit to the growth curve of these birds.

Although the ability to estimate and fit by Gompertz and Richards models are similar, the former has the best fit to the variability of animal weight with increasing age. This variability has been pointed by Wang (2004) and Aggrey (2009) as limiting for growth modeling when using repeated measures over time.

This research provides a model to evaluate the development of poultry of farm "Hacienda la Montaña", allowing to know own system productive parameters and to determine optimal growth ranges for this line of birds under environmental conditions and farm management. Therefore, it is important to continue assessing and applying mathematical models as tools for control and decision making in animal production.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the "Departamento de Formación Académica de Haciendas" of the University of Antioquia for data collection. This research was funded by the University of Antioquia (CODI CODI Sostenibility 2013/ E01727 y Convocatoria Mediana cuantía "Diseño y validación de sistemas de apoyo a la toma de decisiones en granjas avícolas productoras de huevo comercial" E01533) and the Colombian "Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación" (COLCIENCIAS), (Convocatoria Nacional para Estudios de Doctorados en Colombia 528, año 2011).

REFERENCES

Aggrey, S. E., 2002. Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. Poultry Science 81:1782–1788.

Aggrey, S. E., 2009. Logistic nonlinear mixed effects model for estimating growth parameters. Poultry Science 88:276–280.

Agudelo, D. G., Cerón M. F., Restrepo L. F., 2008. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 21:39-58.

Akaike, H. A., 1974. New look at the statistical model identification. IEEE Trans Automat Contr AC. 19:716-723.

Bertalanffy, L. Von., 1938. A quantitative theory of organic growth. Human Biology 10:181-213.

Brody, S., 1945. Bioenergetics and growth; with special reference to the efficiency complex in domestic animals. New Cork: Reinhold Publishing Corporation.

Dunnington, E. A., and P.B. Siegel. 1984. Age and body weight at sexual maturity in female White Leghorn chickens. Poultry science, 63(4), 828-830

Galeano-Vasco, L., Cerón-Muñoz M. F. 2013. Modelación del crecimiento de pollitas Lohmann LSL con redes neuronales y modelos de regresión no lineal. Revista MVZ de Córdoba 18(3):3861-3867.

Galeano-Vasco, L., Cerón-Muñoz M. F., Rodríguez D., Cotes J. M. 2013. Uso del modelo de distribución con retardo para predecir la producción de huevos en gallinas ponedoras.Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 26(4):270-279.

Gompertz, B., 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 115:513-585.

Grossman, M., B. B. Bohren, and V. L. Anderson. 1985. Logistic growth curve of chickens: a comparison of techniques to estimate parameters. Journal of Heredity 76: 397–399.

Grossman, M., W.J. Koops. 1988. Multiphasic analysis of growth curves in chickens. Poultry Science 67(1):33-42.

Joseph, N. S., F. E. Robinson, R. A. Renema, and K. A. Thorsteinson. 2003. Comb growth during sexual maturation in female broiler breeders. The Journal of Applied Poultry Research 12:7–13

Kirikçi, K., A. Günlü, O. Çetin, and M. Garip. 2007. Effect of hen weight on egg production and some egg quality characteristics in the partridge (Alectoris graeca). Poultry Science 86:1380-1383

Kwakkel, R. P., B. J. Ducro, and W. J. Koops. 1993. Multiphasic analysis of growth of the body and its chemical components in White Leghorn pullets. Poultry Science 72(8):1421-1432.

Laird, A. K., S. A. Tyler, and A. D. Barton. 1965. Dynamics of normal growth. Growth. 29: 233-248.

Nahashon, S. N., S. E. Aggrey, N. A. Adefope, A. Amenyenu, and D. Wright. 2006. Growth characteristics of pearl gray guinea fowl as predicted by the Richards, Gompertz, and logistic models. Poultry Science 85:359-363.

Oliveira, H. N., R. L. Rarbosa, and C. S. Pereira. 2000. Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça guzerá. Pesquisa Agropecuária Brasileira 35(9):1843-1851.

Pinheiro, J. C. and Bates, D. M. 1995. Approximations to the Log-likelihood Function in the Nonlinear Mixed-effects Model. Journal of Computational and Graphical Statistics 4(1):12-35.

Richards, F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. Journal of Experimental Botany 10(2):290-301.

SAS Institute. 2010. SAS/STAT User's Guide. Version 9.1 ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. Annals of Statistics. 6(2):461-464.

Tabatabai, M., D. K. Williams, and Z. Bursac. 2005. Hyperbolastic growth models: theory and application. Theoretical Biology & Medical Modelling. 2(14):1-13.

Verhulst, P. F. 1838. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. Correspondence of Mathematical Physics 10:113-121.

Wang, Z., Zuidhof M. J., 2004. Estimation of growth parameters using a nonlinear mixed Gompertz model. Poultry Science 83(6):847-852.

.

Table 1. Nutritional composition of diets offered to the birds in the evaluation period.

Nutrients	**Type of diets**					
				Layer diets		
	Starter	Grower	Developer	Special	Phase 1	Phase 2
CP (g kg^{-1} as fed)	214	200	170	180	170	160
ME (Mcal/kg)	3.00	2.91	2.78	2.85	2.85	2.85

CP: crude protein, ME: metabolizable energy, Starter (1 to 2 weeks), Grower (3 to 10 weeks), Developer (11 to 16 weeks), and layer diets: Special (17 to 45 weeks), Phase 1 (46 to 58 weeks), and Phase 2 (before 58 weeks).

Table 2. The body weight data (grams) of Lohmann LSL hens used to model the growth curve with nonlinear mixed models.

Day	**Mean**	**SD**	**Day**	**Mean**	**SD**	**Day**	**Mean**	**SD**	**Day**	**Mean**	**SD**	**Day**	**Mean**	**SD**
21	187	31.99	70	749.00	56.78	154	1562.76	84.57	317	1636.41	94.16	490	1647.46	91.33
28	214.30	40.26	85	902.33	80.79	168	1562.94	84.15	338	1631.55	86.52	554	1692	121.45
36	301.23	49.51	98	1054	82.02	196	1625.61	92.31	378	1607.12	107.78	532	1676.50	127.07
42	386.37	52.05	114	1192	60.91	224	1629.33	90.2	408	1695.73	117.13	546	1706.90	110.70
52	509.04	55.73	123	1266.65	74.37	270	1628.13	101.10	422	1679.46	111.54	553	1689	97.66

56	582.96	63.53	133	1415.41	110.66	277	1633.39	105.02	452	1715.25	93.07
65	681.12	61.61	144	1561.72	95.04	291	1601.77	86.35	484	1717.91	84.37

Day: day of measurement, Mean: hen weight average and SD: standard deviation

Table 3: Differences between the amount of feed consumed per bird day-1 and the amount recommended by the management guide hens of the strain Lohmann LSL (weeks 1 to 25).

wk	Dif	wk	Dif	wk	Dif	wk	Dif	wk	Dif	wk	Dif	wk	Dif	wk	Dif	wk	Dif
1	0.74	**4**	1.41	**7**	3.25	**10**	7.42	**13**	6.47	**16**	-0.47	**19**	82.09	**22**	-9.01	**25**	-6.79
2	0.61	**5**	1.25	**8**	7.06	**11**	3.77	**14**	-0.41	**17**	-3.72	**20**	92.30	**23**	-10.79		
3	1.65	**6**	1.92	**9**	5.42	**12**	3.46	**15**	5.00	**18**	-1.97	**21**	87.68	**24**	-8.82		

wk: week, and Dif: (actual feed consumption (g/hen/day) - theoretical feed consumption (g/hen/day))

Table 4. Classification based on information criteria and correlation value of non-linear mixed models used to evaluate growth of Lohmann LSL hens.

Model	-2 Log likelihood	AIC[1]	BIC[1]	Correlation[2]
Gompertz	8405.4	8419.4	8428.2	0.991*
Richards	8408.0	8424.0	8434.1	0.990*
Von Bertalanffy	8464.3	8478.3	8487.1	0.957*

[1]A low value indicates better fit of the model to the data. [2] Correlation between observed and predicted data obtained with the Pearson method. * p-value < 0.001. AIC: Akaike information criterion. BIC: Bayesian information criterion.

Table 5. Parameters estimated by nonlinear-mixed growth models used to evaluate Lohmann LSL birds.

Parameters	Models		
	Gompertz	Richards	Von Bertalanffy
β_0	1660.46 ± 15.5	1678.28 ± 18.6	1483.59 ± 50.1
b_0	72.68 ± 11.9	80.08 ± 14.3	192.84 ± 51.4
β_1	2.44 ± 3.7 E^{-02}	5.54E^{-04} ± 6.9 E^{-04}	0.55 ± 1.2 E^{-02}
β_2	2.30 E^{-02} ± 5.1 E^{-04}	2.24 E^{-02} ± 5.4 E^{-04}	2.74 E^{-02} ± 7.4 E^{-04}
b_2	1.84 E^{-03} ± 3.6 E^{-04}	1.84 E^{-03} ± 4.5 E^{-04}	1.36 E^{-02} ± 2.5 E^{-03}
M		2.29E^{-03}	
E	73.37 ± 2.01	72.64 ± 2.22	72.51 ± 1.99

β_0, β_1 and β_2: fixed estimated fixed parameters, b_0 and b_2: estimated random parameters, m: asymptotic weight proportion corresponding to the inflexion point in Von Bertalanffy model, Scientific notation $a*E^{-n}$ where *E* is equal to 10, *n* is an integer, and *a* is any real number, and e: error of estimation.

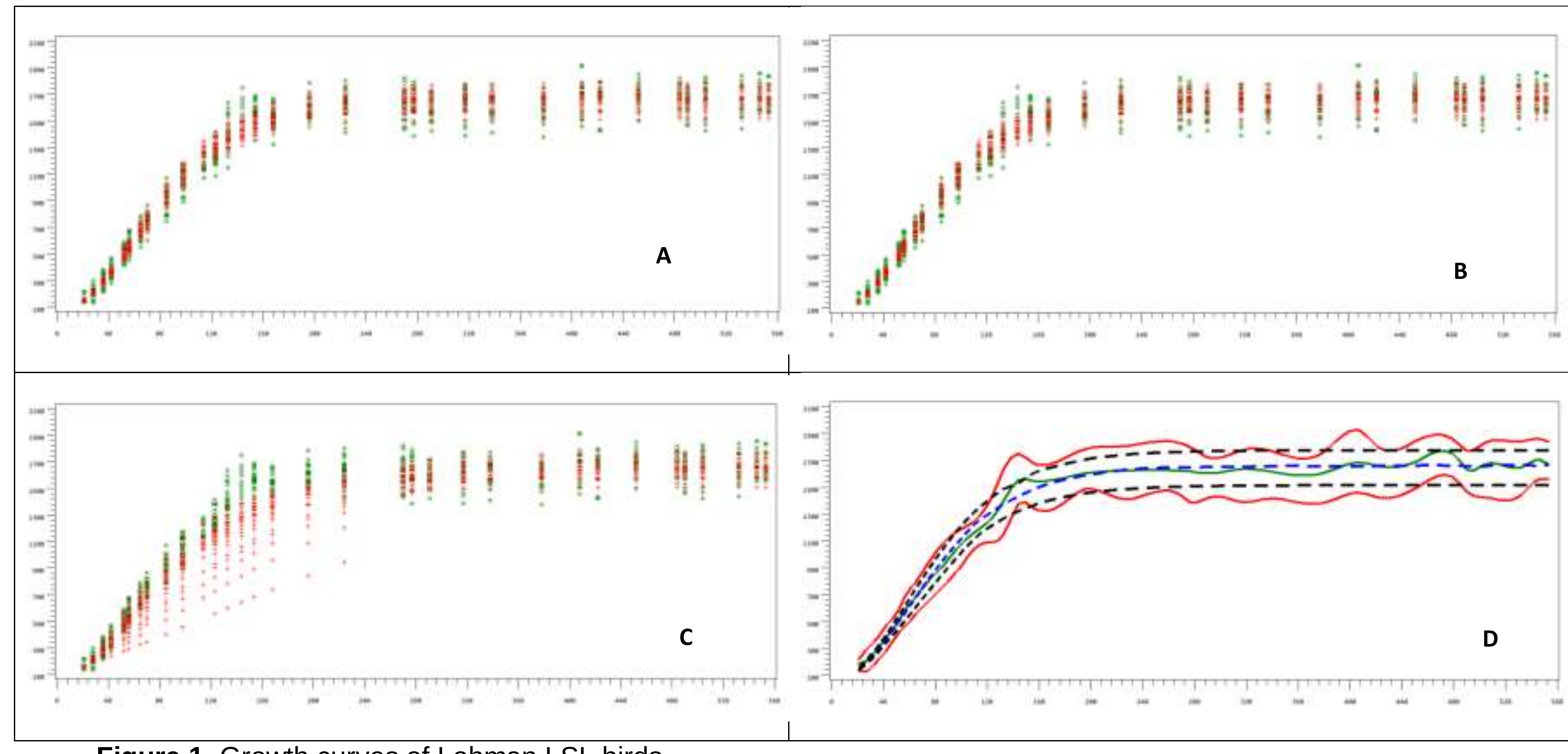


Figure 1. Growth curves of Lohman LSL birds

Estimated by the models (++ : weight estimated by the model, ** : Actual weight), Axis y: weight (g). Axis x: age (days): Non linear mixed model of Gompertz (A), Non linear mixed model of Richards (B) and Non linear mixed model of Von Bertalanffy (C). Projected growth curve by the Gompertz model for Lohmann LSL hens under the University of Antioquia production

system (D) (: estimated upper and lower limit; : average estimated data; : average actual data; : actual data lower and upper limits).

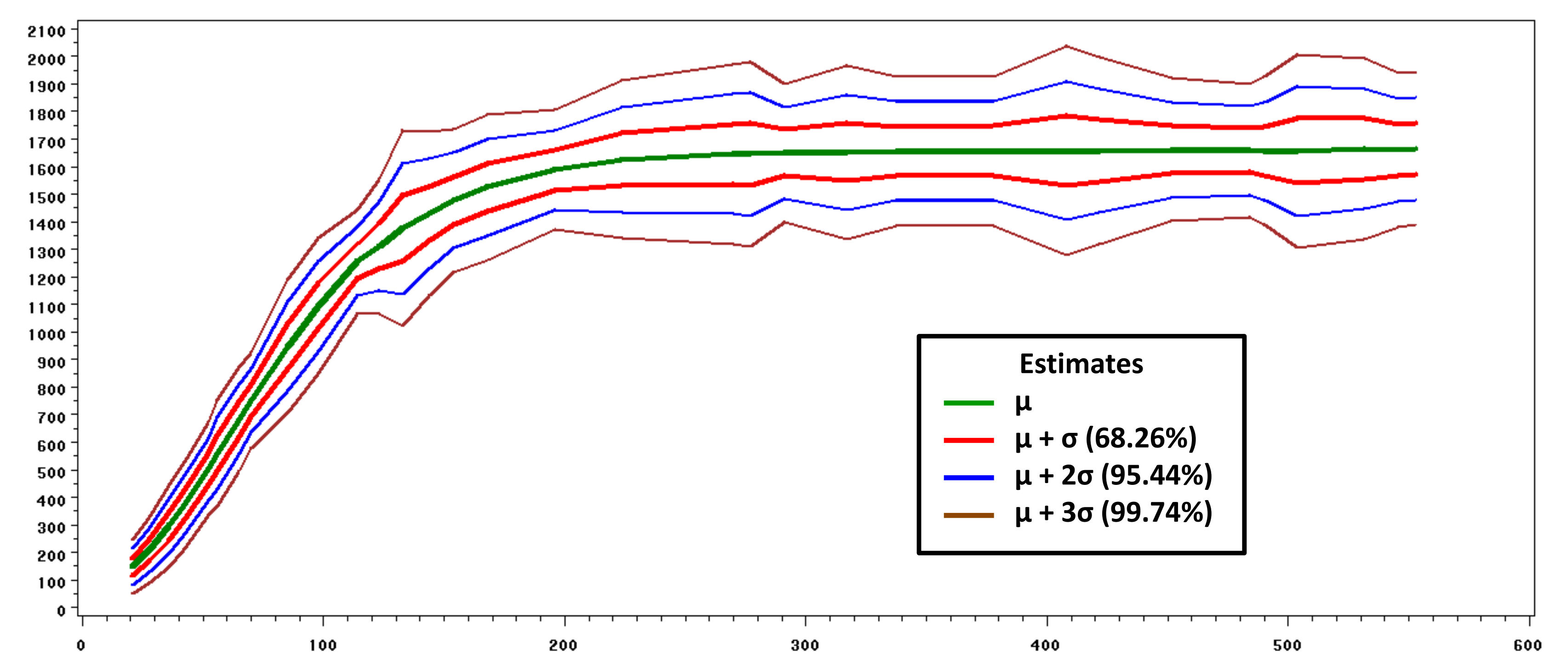


Figure 2. Projected growth curve of Lohmann LSL hens using the Gompertz model based on population deviations, for the production system of the University of Antioquia.

Axis y: weight (g). Axis x: age (days).(μ= Mean, and σ= standard deviation). BW: body weight.

Capítulo 2. Modelación del crecimiento de pollitas Lohmann LSL con redes neuronales y modelos de regresión no lineal.

Este artículo obedece al desarrollo de los objetivos específicos:

- Establecer el modelo que mejor ajusta la curva de crecimiento y el desarrollo del ave de postura.
- Diseñar y evaluar un sistema de información de apoyo a la toma de decisiones para sistemas de producción avícola de huevo comercial.

En este artículo contrastar los modelos no lineales y no lineales mixtos probados en el capítulo uno con las redes neuronales para identificar el modelo que ajuste la curva de crecimiento de las aves bajo las condiciones del Sistema de producción de la Hacienda la Montaña de la Universidad de Antioquia. La incursión en el uso de redes neuronales permitirá su inclusión en los modelos de predicción del crecimiento y la producción de huevos en aves comerciales. Además, servirá como introducción a la definición de modelos de fácil utilización y ajuste para la construcción del sistema de apoyo a la toma de decisiones en avicultura.

Publicado en Revista MVZ de Córdoba 18(3):3861-3867, 2013. ISSN: 0122-0268.

Link: http://apps.unicordoba.edu.co/revistas/revistamvz/mvz-183/v18n3a16.pdf

El formato y lineamientos de la revista MVZ de Córdoba aparecen en el Anexo 3.

Rev.MVZ Córdoba 18(3):3861-3867, 2013. ISSN: 0122-0268

ORIGINAL

Modelación del crecimiento de pollitas Lohmann LSL con redes neuronales y modelos de regresión no lineal

Modeling of growth in Lohmann LSL pullets with neural networks and nonlinear regression models

Luis Galeano-Vasco,* M.Sc, Mario Cerón-Muñoz, Ph.D.

Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo investigación Genética, Mejoramiento y Modelación Animal, A.A. 1226, Medellín, Colombia. *Correspondencia: lf.galeano.vasco@gmail.com

Recibido: Abril de 2012; Aceptado: Febrero de 2013.

RESUMEN

Objetivo. Modelar la curva del crecimiento de aves de la línea Lohmann LSL utilizando modelos no lineales (MNL), no lineales mixtos (MNLM) y redes neuronales artificiales (RNA). **Materiales y métodos.** Periódicamente se pesaron 33 aves en promedio, desde el día 21 al 196 de vida para un total de 558 registros individuales de peso. En el ajuste de la curva de crecimiento se utilizaron los modelos: no lineal de Von Bertalanffy (MNL), no lineal Mixto de Von Bertalanffy (MNLM) y redes neuronales artificiales (RNA). Los modelos se compararon con coeficiente de correlación y medidas de presicion cuadrado medio del error (CME), desviación media absoluta (MAD) y porcentaje de la media absoluta del error (MAPE). **Resultados.** Los valores de correlación entre los datos reales y estimados, fueron 0.999, 0.990 y 0.986 para MNLM, RNA y MNL respectivamente. El modelo más preciso con base en los criterios MAPE, MAD y CME fue el MNLM, seguido por la RNA. La grafica de predicción generada la RNA es similar a la del MNLM. La RNA presentó un desempeño superior al MLN. **Conclusiones.** El mejor modelo para la predicción de curvas de crecimiento de aves comerciales de la línea Lohmman LSL hasta los 196 días de edad, con múltiples mediciones por animal en el tiempo, fue el MNLM. La RNA presento un desempeño superior al MNL.

Palabras clave: Crecimiento, modelo no lineal, modelo no lineal mixto, redes neuronales artificiales (*Fuente: MeSH*).

ABSTRACT

Objective. Modeling the pullet growth curve of the Lohmann LSL line, by using nonlinear model (MNL), nonlinear mixed model (MNLM) and artificial neural networks (ANN). **Materials and methods.** An average of 33 birds, were weighed from day 21 to 196 of life for 558 individual weight records. To adjust the growth curve the following models were used: nonlinear Von Bertalanffy (MNL), nonlinear mixed Von Bertalanffy (MNLM) and artificial neural networks (RNA). The models were compared with a correlation coefficient and precision measurements: mean square error (MSE), Mean Absolute Deviation (MAD) and the mean absolute percentage error (MAPE). **Results.** Correlation values, between actual and estimated data, were 0.999, 0.990 and 0.986 for MNLM, RNA and MNL respectively. The most accurate model based on the MAPE, MAD and CME criteria was MNLM followed by RNA. The prediction graph for RNA was similar to MNLM. The RNA performance was higher than MLN. **Conclusions.** The best model for the prediction of growth curves of commercial Lohmman LSL birds to 196 days of age, was the MNLM, with multiple measurements per animal at the time. RNA performance was higher MLN.

Key words: Connectionist Models, growth, Non-linear Models, nonlinear mixed effect model (*Source: MeSH*).

INTRODUCCIÓN

El rendimiento productivo de las aves de corral en la producción de huevo comercial, está asociado al desarrollo óseo, muscular y reproductivo alcanzado durante la fase de cría y levante (1, 2). En este periodo el objetivo del avicultor es obtener lotes de animales con un peso y uniformidad acorde a las exigencias de la casa genética, para alcanzar la madurez sexual a la edad optima para expresar todo su potencial productivo (3).

El desarrollo del ave en la etapa de cría y levante está condicionado por factores ambientales (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y luminosidad), de manejo, nutricionales, genéticos y de instalaciones (4, 5), entre otros. La medición, caracterización y modelación de estos factores favorece la implementación de acciones preventivas y correctivas tendientes a ofrecer a los animales un ambiente confortable, disminuyendo así las pérdidas productivas ocasionadas por los cambios en el comportamiento y gastos energéticos del metabolismo en respuesta a eventos o factores causantes de stress de las aves (6,7).

En tal sentido, para la descripción ajuste y predicción de la curva de crecimiento en aves se han utilizado las funciones de Brody (8), Gompertz (9), Logística (10), Richards (11), Von Bertalanffy (12), modelos con la inclusión de algoritmos genéticos (13) y las RNA (14), entre otros.

La principal diferencia entre los MNL y MNLM es la inclusión de efectos aleatorios con el fin de explicar parte del error total a partir de la variabilidad individual. Por tal motivo los MNLM generan estimaciones que representan con más fidelidad el comportamiento de variables medidas en el tiempo al cuantificar la variación dentro y entre los individuos. El resultado final de un MNLM son los efectos fijos con los valores esperados y los efectos mixtos con la varianza y la covarianza de las observaciones (15).

Autores como Ahmadi et al (16) y Roush (14) han comparado la capacidad de ajuste de las RNA con otros modelos usando datos de crecimiento de pollos de engorde, encontrando que las RNA son más fáciles de usar y más eficientes; además como no tienen una ecuación prediseñada tienen la posibilidad de trabajar con datos que tengan "ruido" y así maximizar su poder de ajuste. En otra evaluación Yee (17), modelando el crecimiento de ovejas, afirmó que las RNA fueron menos influenciada por la variabilidad longitudinal en los datos lo que le da superioridad ante otros modelos por combinar la exactitud y precisión en el ajuste de la curva.

Otro aspecto es que son RNA son técnicas de distribución libre o no paramétricas, admitiendo la incorporación de todo tipo de datos independientemente del cumplimiento de los supuestos teóricos relativos a las técnicas estadísticas (normalidad, homocedasticidad, independencia, etc.) (18,19). Pero lo más relevante de las RNA radica en su capacidad de aprender y reestructurarse a sí misma, convirtiéndola en un modelo que está en constante adaptación (20).

En este estudio se comparó la capacidad para modelar la curva de crecimiento (peso en gramos) de las redes neuronales, modelos no lineales y modelos no lineales mixtos. Este análisis se realizó como punto de partida para la construcción de un modelo basado en RNA que incorpore un número mayor de variables de entrada tales como: condiciones ambientales, genéticas, de manejo y nutricionales, entre otras; usadas para modelar la curva de crecimiento de aves destinadas a la producción de huevo comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio. Estudio longitudinal con diseño de medidas repetidas en el tiempo, donde la variable dependiente (peso del ave) es evaluada en función del tiempo (edad del ave) para cada individuo.

Sitio de estudio. La información utilizada para la modelación procede de un lote de aves de la Hacienda La Montaña, propiedad de la Universidad de Antioquia, localizada en el municipio de San Pedro de Los Milagros (Antioquia) a los 6° 19´19´´ de latitud norte y a 1° 37´ 40´´ de longitud occidental. Con altura de 2.350 m.s.n.m. y temperatura promedio de 15°C (máxima 22°C y mínima 7°C).

Muestra. Para la realización de la evaluación del crecimiento se utilizaron 100 aves de la línea Lohmann LSL seleccionadas al azar de un lote de gallinas ponedoras de huevo comercial.

Recolección de datos. La muestra inicial fue de 100 aves, las cuales el día 21 de vida fueron marcadas y pesadas. Desde la fecha de inicio de la evaluación hasta la edad de 196 días, las aves fueron evaluadas por 17 veces (cada 11±6 días). Las pollitas terminaron su fase de cría y

levante en piso el día 112, durante este periodo se recapturaron 26 aves en promedio en las 11 mediciones realizadas. A partir del traslado a las jaulas hasta cumplir 196 días de edad 35 aves fueron pesadas 6 veces. Los 65 animales faltantes no se encontraron al momento del traslado debido a pérdidas de las etiquetas de marcado en cría y levante o muerte. En total se obtuvieron 558 datos de pesaje para el ajuste de los modelos. Durante todo el proceso las aves recibieron alimento y agua fresca *ad libitum*, con base en los criterios propuestos por la línea genética y los requerimientos nutricionales propios del sistema de cría y levante en piso.

Análisis estadístico. Para el entrenamiento de la red se utilizaron 446 datos de pesaje (80%). La estructura de la neurona se basó en el perceptron multicapa, con una neurona de entrada (edad del ave en días), seis neuronas en la capa oculta y una neurona de salida (peso del ave g.). La función de activación de las neuronas ocultas fue:

$$f(x) = tansig(x) = \left(\frac{2}{1+e^{-2x}}\right) - 1$$

La RNA se programó para que la red pudiese generar relaciones lineales con la neurona de salida (linout=TRUE), con la posibilidad de crear conexiones directas entre la neurona de entrada y de salida (skip=TRUE) y con un mínimo de 1000 iteraciones (miniter=1000). La elección de estos parámetros fue llevada a cabo de forma heurística a través de ensayos pilotos en simulaciones previas.

Para la selección de los modelos estadísticos se realizaron ensayos previos en los cuales se comparó la capacidad de ajuste de los modelos Logístico, Brody, Richards, Gompertz y Von Bertalanffy, siendo este último el de mejor desempeño hasta los 196 días de edad del ave.

El modelo no lineal Von Bertalanffy (12) utilizado para el ajuste de la curva de crecimiento,

$$y_{ij} = \beta_0 \cdot (1 - \beta_1 \cdot \exp^{-\beta_2 \cdot t_{ij}})^3$$

El modelo no lineal Von Bertalanffy utilizado para el análisis de las curvas de crecimiento fue adaptado a modelo mixto con la inclusión de parámetros aleatorios, así:

$$y_{ij} = (\beta_0 + b_{0i}) \cdot (1 - \beta_1 \cdot \exp^{(-\beta_2 + b_{2i}) \cdot t_{ij}})^3 + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:
y_{ij}= peso corporal (g) de la i-ésima ave en el j-ésimo tiempo;
t= tiempo, edad en días
β_0= Componente fijo del modelo y está relacionado con el peso asintótico cuando t tiende a infinito (porcentaje de madurez con respecto al peso adulto);
β_1= Componente fijo del modelo, el cual se define como el parámetro de ajuste cuando $Y \neq 0$ o $t \neq 0$;
β_2= Componente fijo del modelo, entendido como el índice de madurez expresado como una proporción de porcentaje del máximo crecimiento con respecto al peso adulto del ave;
b_{0i} y b_{2i} = efectos aleatorios asociados a los efectos fijos β_0 y β_2, definen la varianza y la covarianza de las observaciones para cada efecto fijo en la i-ésima ave;
m= hace referencia a la proporción del peso asintótico en que el punto de inflexión se produce;
ε_{ij} = Efecto residual asociado a la i-ésima ave en el j-ésimo tiempo

El residuo así como los efectos aleatorios se asumieron como independientes, con distribución normal, media cero y varianza constante.

La precisión de los modelos fue determinada por:

Correlación por el método de Pearson entre los datos observados y los predichos.
Cuadrado medio del error (CME):

$$CME = \frac{\sum_{i=1}^{n} |y_i - \hat{y}_i|^2}{n}$$

Porcentaje de la media absoluta del error (MAPE):

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right|}{n} x\,100, \ (y_i \neq 0)$$

Media de la desviación absoluta (MAD):

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{n} |y_i - \hat{y}_i|}{n}$$

Para el análisis de los datos, programación de los modelos y graficación se utilizaron los paquetes lattice, neuralnet, nlme y lme4 del software R Project (21).

RESULTADOS

El MNL Von Bertalanffy fue altamente significativo ($p<0.001$) y se ajustó a los datos con los valores, así:

$$Peso_{ij} = 1861.1 \cdot (1 - 0.8131 \cdot \exp^{-0.0162 \cdot t_{ij}})^3 + 83.20$$

El MNLM Von Bertalanffy, quedó estructurado con los parámetros estimados con efecto altamente significativo ($p<0.001$), así:

$$Peso_{ij} = (1804.41 + (\sigma^2 = 9.4653)) * (1 - 0.8144 * \exp^{(-0.01687 + (\sigma^2 = 0.001608)) \cdot t_{ij})^3} + 31.99$$

Los disposición final de la RNA aparece en la figura 1, donde se aprecian 19 parámetros estimados por la red (12 pesos de interconexión entre neuronas y 7 valores umbral).

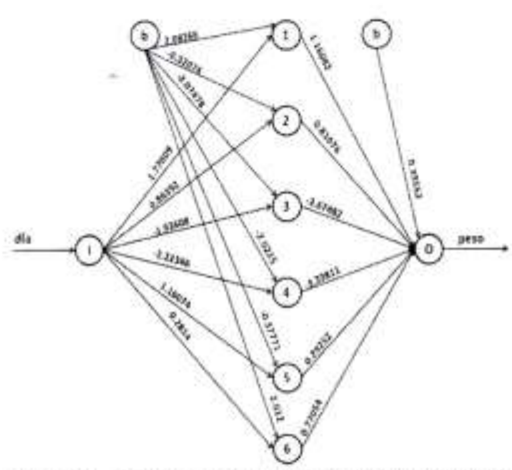


Figura 1. Estructura de la red neuronal: neurona de entrada (i) para la edad del ave en días, seis neuronas ocultas (1-6), dos neuronas de umbral (b) y una neurona de salida(o) que estima el peso del ave (g).

En la tabla 1 se puede observar los valores de los criterios de validación y comparación de los modelos utilizados en la descripción del crecimiento de aves de la línea Lohmann LSL. El CME penaliza los modelos con mayores errores de pronóstico ya que eleva cada uno al cuadrado. El MAPE calcula los errores de pronóstico en términos de porcentaje y no de cantidades. El objetivo es obtener modelos con valores de MAPE cercanos a cero, en el caso de valores mayores a cero el modelo está subestimando los datos, mientras que valores inferiores a cero dan a entender que el modelo tiende a sobreestimar los datos. El MAD arroja el promedio de los valores absolutos delos erros. El modelo de mejor ajuste ofrecerá menores valores de CME MAPE y MAD (22).

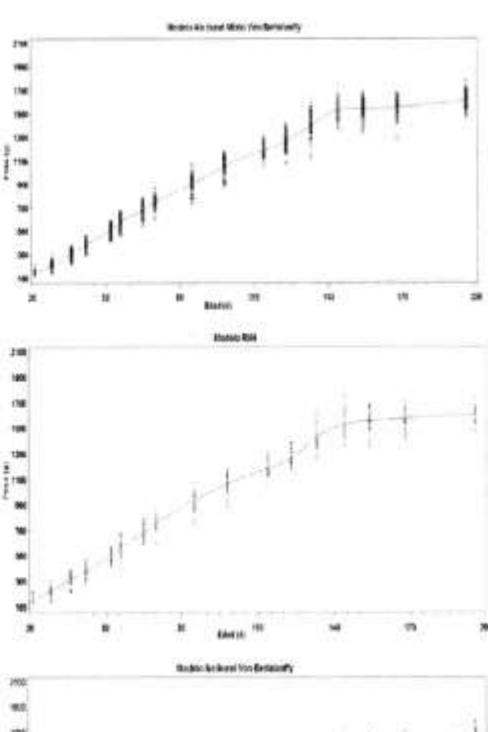
Tabla 1. Criterios de validación y comparación de los modelos utilizados en la descripción del crecimiento de aves de la línea Lohmann LSL.

	MAPE	MAD	CME	Correlación*
MNLM	1.964	11.371	312.61	0.999
RNA	7.739	56.284	4930.04	0.990
MNL	8.190	65.317	6921.74	0.986

*Correlación por el método de Pearson entre el valor observado y el estimado por el modelo. Los tres modelos presentaron efecto altamente significativo ($p<0.001$) para los valores de correlación.

El MNLM presentó los menores valores de MAPE, MAD, CME y de correlación, seguido por los modelos RNA y MNL. Los tres modelos presentaron valores de correlación superiores al 0.98.

Las curvas de crecimiento ajustadas por los modelos MNL, MNLM y RNA para aves de la línea Lohmann LSL aparecen en la figura 2. Se puede ver que la línea media de predicción del MNLM y RNA tienen una forma similar, logrando ajustar la disminución en la tasa de crecimiento entre los días 110 y 140, periodo que sobreestimó el MNL.



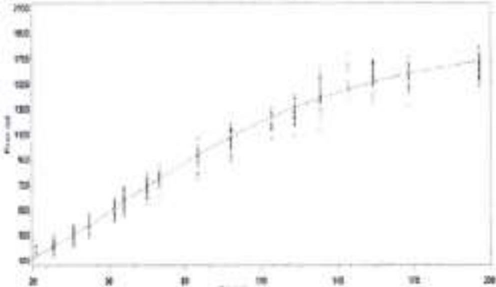


Figura 2. Curvas de crecimiento estimadas por los modelos RNA, MNLM y MNL para aves de la línea Lohmann LSL. (o , —— = Peso estimado por el modelo, *** = Peso real).

Los tres modelos presentaron problemas para ajustar el inicio de la curva, donde el valor estimado fue menor al valor real, lo cual se aprecia en los gráficos de distribución de residuos (Figura 3).

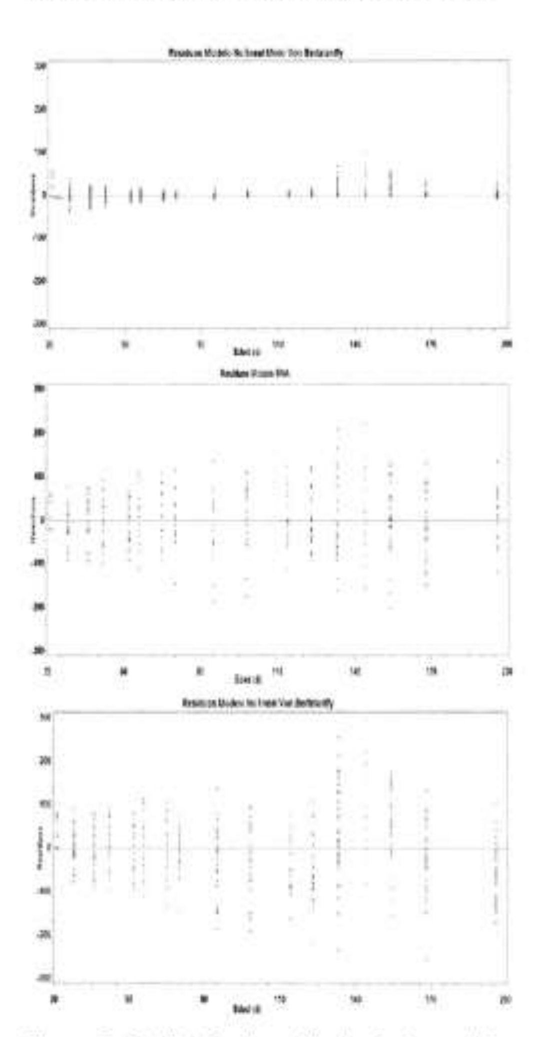


Figura 3. Distribución de residuales de los modelos utilizados en la descripción del crecimiento de aves de la línea Lohmman LSL.

El MNLM subestima los datos en 9 de las 17 mediciones, solo del día 28 al 70 realiza un ajuste óptimo. La RNA, a excepción de la medición inicial, distribuye los residuos en similar proporción por encima y debajo de cero para los puntos de medición. El MNL tiene un desempeño de los residuos similar a las RNA, pero en el periodo entre 110 y 140 días sus residuales muestran que subestima los valores ajustados.

DISCUSIÓN

Los modelos estimaron como peso asintótico (β_0) 1861 g. para MNL y de 1804 g. para el MNLM. La tasa de aceleración del crecimiento (β_2) para ambos modelos fue negativa. Con estos parámetros y las derivadas de los modelos podemos estimar la edad a la que el ave llegará a su máximo peso y la edad a la que alcanzará la madures sexual (50% de producción de huevos), siendo de importancia para la toma de decisiones en la consecución del peso objetivo de las aves en el periodo de cría y levante. En contraste, las RNA entregan un conjunto de parámetros estimados pero no tienen ninguna explicación biológica asociada al evento que se está modelando, en este caso el crecimiento de las aves.

Según los criterios de comparación MAPE, MAD, CME y Correlación el mejor modelo fue el MNLM Von Bertalanffy, el mayor ajuste a los datos reales se logra gracias a la inclusión de los componentes aleatorios (b_0 y b_2), que son las varianzas aportadas por cada individuo al parámetro fijo. Así, el modelo es capaz de estimar el valor medio de la población y adicionarle la variación en el peso que cada individuo aporta en la curva (10).

En comparación con los otros modelos, la RNA presentó mayor facilidad de programación y ejecución, ya que solo es necesaria la variación heurística en el número de neuronas ocultas para lograr el ajuste, mientras que para MNL y MNLM son cuatro (β_0, β_1, β_2 y ε) y (β_0, β_1, β_2, b_0 ,b_2, rho y ε) siete parámetros respectivamente, con los que el investigador debe probar de forma consecutiva hasta lograr el ajuste del modelo; por lo que la velocidad y facilidad de ajuste del MNL y MNLM dependen directamente de la calidad de los parámetros iniciales, aspecto también expresado por Roush et al (14).

La disminución en la tasa de crecimiento observada entre los días 114 y 123 que el MNLM y la RNA lograron ajustar (Figura 2), está asociada con la edad de traslado a los 112 días, periodo en el cual las aves disminuyen su consumo de alimento y agua como consecuencia de la adaptación del ave al nuevo entorno social, instalaciones y equipos del galpón con las jaulas de producción. Para evitar esta disminución en el peso, se recomienda llevar las aves a la edad de traslado con un 10% más de peso al recomendado por la línea, evitando retrasos en el crecimiento del ave y un inicio de puesta tardío (1,2).

En el análisis de las gráficas de residuos se puede apreciar como los modelos sub-estimaron el crecimiento del ave al día 144. Este cambio en

la curva, que no fue ajustado por los modelos, puede estar asociado al inicio de la producción, que en promedio se dio entre los días 126 y 154 de vida.

Para el cumplimiento del objetivo de estimar de manera más precisa los cambios en el peso del ave en la fase de cría y levante, es necesario la inclusión de nuevas variables tales como iluminación (luxes), cantidad de nutrientes consumidos, volumen de agua ingerida, temperatura del agua, factores ambientales (temperatura y humedad relativa), genética y actividades de manejo, entre otras. La incorporación de todos los posibles factores que tienen efecto en el crecimiento del ave se puede hacer con las RNA, ya que de los tres es el único modelo que posibilita el desarrollo de estas modificaciones en su estructura.

En conclusión, el mejor modelo para la predicción de curvas de crecimiento fue el MNLM de Von Bertalanffy, las redes neuronales artificiales (RNA) presentaron un desempeño similar con el MNL, con la ventaja de la facilidad en su programación, rapidez en su ajuste y además, con la posibilidad de ampliar las características de la red con la inclusión de nuevas variables que influyen en el crecimiento de las ves, siendo las redes neuronales otra opción viable para la modelación en producción animal.

Agradecimietnos

Universidad de Antioquia (CODI Sostenibilidad 2013 (Código E01727) y Mediana cuantia (Código E01533) and Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS).

REFERENCIAS

1. Reddish JM, Nestor KE, Lilburn MS. Effect of selection for growth on onset of sexual maturity in randombred and growth-selected lines of japanese quail. Poult Sci 2003; 82:187-191.
2. Amira E El-Dlebshany. The relationship between age at sexual maturity and some productive traits in local chickens strain. Egypt Poult Sci 2008; 28(4):1253-1263.
3. Dunnington EA, Siegel PB. Age and body weight at sexual maturity in female White Leghorn. Poult Sci 1984; 63:828-830.
4. Vo KV, Boone MA, Hughes BL, Knechtges JF. Effects of ambient temperature on sexual maturity. Poult Sci 1980; 59(11):2532-2537.
5. Aggrey SE. Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. Poult Sci 2002; 81:1782-1788.
6. Aguilar C, Cortés H, Allende R. Los modelos de simulación. Una herramienta de apoyo a la gestión pecuaria. Arch Latinoam Prod Anim 2002; 10(3): 226-231.
7. Heywang BW. Effect of cooling houses for growing chickens during hot weather. Poult Sci 1947; 26(1):20-24.
8. Brody S. Bioenergetics and growth. New York: Reinhold Publishing Corporation; 1945.
9. Laird AK, Tyler SA, Barton AD. Dynamics of normal growth. Growth 1965; 29:233-248.
10. Aggrey SE. Logistic nonlinear mixed effects model for estimating growth parameters. Poult Sci 2009; 88:276-280.
11. Richards FJ. A flexible growth function for empirical use. J Exp Bot 1959; 10:290-300.
12. Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth. Hum Biol 1938; 10:181-213.
13. Roush WB, Branton SL. A Comparison of fitting growth models with a genetic algorithm and nonlinear regression. Poult Sci 2005; 84(3):494-502.
14. Roush WB, Dozier III WA, y Branton SL. Comparison of gompertz and neural network models of broiler growth. Poult Sci 2006; 85:794-797.
15. Wang Z, Zuidhof MJ. Estimation of growth parameters using a nonlinear mixed gompertz model. Poult Sci 2004; 83:847-852.
16. Ahmadi H, Golian A. Neural network model for egg production curve. J Anim Vet Adv 2008; 7(9):1168-1170.
17. Yee D, Prior MG, Florence LZ. Development of predictive models of laboratory animal growth using artificial neural networks. Comput Appl Biosci 1993; 9(5):517-22.

18. Pitarque A, Roy JF, Ruiz JC. Redes neurales vs modelos estadísticos: Simulaciones sobre tareas de predicción y clasificación. Psicothema 1998; 19:387-400.

19. Savegnago RP, Nunes BN, Caetano SL, Ferraudo AS, Schmidt GS, Ledur MS, Munari DP. Comparison of logistic and neural network models to fit to the egg production curve of White Leghorn hens. Poult Sci 2011; 2011 90:705-711.

20. Pitarque A, Ruiz JC, Roy JF. 2000. Las redes neuronales como herramientas estadísticas no paramétricas de clasificación. Psicothema 2000; 12(Supl 2):459-463.

21. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2008. ISBN 3-900051-07-0; (fecha de acceso 1 de enero de 2013). URL http://www.R-project.org.

22. Oberstone J. Management Science: Concepts, Insights, and Applications. New York: West Publ. Co; 1990.

Capítulo 3. Uso del modelo de distribución con retardo para predecir la producción de huevos en gallinas ponedoras

Este artículo obedece al desarrollo de los objetivos específicos:

- Establecer el modelo que mejor ajusta la curva del ciclo productivo del ave de postura.
- Diseñar y evaluar un sistema de información de apoyo a la toma de decisiones para sistemas de producción avícola de huevo comercial.

Con este documento se logró avanzar en la identificación del modelo Lokhorst y Delay como candidatos para su uso en la modelación de la curva de producción de huevos para la herramienta informática en desarrollo.

Publicado en la Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 2013; 26:270-279.
Link: http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/viewFile/906/1009

El formato y lineamientos de la revista Colombiana de Ciencias Pecuarias aparecen en el Anexo 4.



Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias

Using the distributed-delay model to predict egg production in laying hens[¤]

Uso del modelo de distribución con retardo para predecir la producción de huevos en gallinas ponedoras

Uso do modelo de distribuição com atraso para predizer a produção de ovos de galinhas poedeiras

Luis Galeano-Vasco[1*], MSc; Mario Cerón-Muñoz[1], PhD; Daniel Rodríguez[2], MSc; José M Cotes[3], PhD.

[1]*Grupo de investigación en Genética, Mejoramiento y Modelación Animal (GaMMA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia.*
[2]*Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ciencias Básicas, Carrera 11 # 101-80, Bogotá.*
[3]*Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Calle 59ª # 63-20, Bloque 11, Oficina 101-7.*

(Received: June 14, 2012; accepted: May 27, 2013)

Summary

Background: using mathematical models to characterize and estimate egg production curves is of great importance for assessing the productive efficiency of hens. These models can be used in identifying and modeling real-time factors affecting animal production and implementing corrective measures to minimize its effect. **Objective:** we compared the ability to model and adjust the egg production curve in hens using the distributed-Delay model versus the Adams-Bell and Lokhorst models. **Methods:** 225 records of weekly production of Hy Line Brown (62 data), Lohmann LSL (54 data), Isa Brown (54 data), and Lohmann Brown (55 data) were used. All analyzed flocks were raised at Hacienda La Montaña Farm, owned and managed by the University of Antioquia (Colombia). Models used were Adams-Bell, Lokhorst and Delay; all were validated and contrasted by Durbin-Watson statistic, MAD, determination (R^2) and correlation (r) coefficients. **Results:** the Delay and Lokhorst models resulted in R^2 values greater than 0.8 and r-values greater than 0.9 ($p<0.01$). For the Lohmann Brown curve, the Adams-Bell model had the lowest R^2 value (0.81), while the Lokhorst and Delay models resulted in the highest R^2 value for the Isa Brown curve (1.0). The Delay model fit the curve (28 and 40 for the k parameter; 63 and 64 for the DEL parameter). The Hy Line Brown curve presented a high number of irregularities, generating great difficulty for adjustment with the evaluated models. **Conclusion:** Delay and Lokhorst models are efficient for predicting egg production curve of the bird strains tested. Unlike the Adams-Bell and Lokhorst models, goodness of fit of the Delay model could be increased by including physiological relationships and supply/demand of resources as input variables, which would allow the model to fit the fluctuations observed in the production curves.

Key words: *mathematical model, modeling, regression analysis.*

¤ To cite this article: Galeano-Vasco, L. Cerón-Muñoz M, Rodríguez D, Cotes JM. Using the distributed-delay model to predict egg production in laying hens. Rev Colomb Cienc Pecu 2013; 26:270-279.

* Correspondig author: Luis Fernando Galeano-Vasco. Grupo de investigación en Genética, Mejoramiento y Modelación Animal (GaMMA), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia. Email: lf.galeano.vasco@gmail.com

Resumen

Antecedentes: los modelos matemáticos permiten caracterizar y estimar las curvas de producción de huevos, siendo de gran importancia para la evaluación de la eficiencia productiva de las gallinas, posibilitando identificar factores que afecten la producción animal y aplicar correctivos para minimizar su efecto. **Objetivo:** se comparó la capacidad para ajustar la curva de producción de huevos utilizando el modelo de distribución con retardo (Delay) y los modelos Adams-Bell y Lokhorst. **Métodos:** se utilizaron 225 datos de registros semanales de producción de cuatrolíneas: Hy Line Brown (62 datos), Lohmann LSL (54 datos), Isa Brown (54 datos), y Lohmann Brown (55 datos). Los lotes analizados pertenecieron a la Hacienda La Montaña, de la Universidad de Antioquia (Colombia). Los modelos fueron validados y contrastados con MAD, el coeficiente de determinación (R^2) y de correlación (r), y el estadístico Durbin-Watson. **Resultados:** los modelos Delay y Lokhorst presentaron valores de R^2 superiores a 0,8 y valores de r superiores a 0,9 ($p<0{,}01$). El modelo Adams-Bell para la curva Lohmann Brown obtuvo el menor valor de r (0,81), mientras que los modelos Delay y Lokhorst presentaron el valor más alto de R^2 (1,0) para la curva de Isa Brown. El modelo Delay se ajustó a la curva, con valores de 28 y 40 para el parámetro k, y de 63 y 64 para el parámetro DEL. La curva de la línea Hy line Brown presentó gran cantidad de irregularidades (altibajos), generando mayor dificultad para ser ajustada con los modelos evaluados. **Conclusión:** los modelos Delay y Lokhorst son eficientes para predecir la curva de producción de huevos de aves de las estirpes probadas. La bondad de ajuste del modelo Delay podría aumentarse mediante la inclusión de otras variables de entrada tales como las relaciones fisiológicas, relaciones de oferta y demanda de recursos, y variables ambientales, posibilitando que el modelo Delay se ajuste a las fluctuaciones de las curvas.

Palabras clave: *análisis de regresión, modelación, modelo matemático.*

Resumo

Antecedentes: os modelos matemáticos para caracterizar e estimar curvas de produção de ovos são de grande importância para avaliar a eficiência produtiva de galinhas poedeiras. Estes possibilitam identificar os fatores que afetam a produção animal e aplicar os corretivos para minimizar seus efeitos. **Objetivo:** comparar a capacidade de ajustar a curva de produção de ovos utilizando o modelo de distribuição com atraso (Delay) e os modelos Adams-Bell e Lokhorst. **Métodos:** foram utilizados 225 dados de registros de produção semanal de quatro linhas de galinhas poedeiras: Hy Line Brown (62 dados), Lohmann LSL (54 dados), Isa Brown (54 dados) e Lohmann Brown (55 dados). Os lotes testados pertenceram à Fazenda La Montaña da Universidade de Antioquia (Colômbia). Os modelos foram validados e comparados com MAD, coeficiente de determinação (R^2) e de correlação (r), e estatística de Durbin-Watson. **Resultados:** os modelos Delay e Lokhorst tiveram valores de R^2 superiores a 0,8 e de r superiores a 0,9 ($p<0{,}01$). O modelo de Adams-Bell para a curva na linha Lohmann Brown teve o menor valor de r (0,81), enquanto os modelos Delay e Lokhorst apresentaram o maior valor de R^2 (1,0) para a curva na linha Isa Brown. O modelo de atraso foi ajustado para a curva, com valores de 28 e 40 para o parâmetro k, e 63 e 64 para o parâmetro DEL. A curva da linha Hy line Brown apresentou muitas irregularidades (solavancos) gerando maior dificuldade para ser ajustada pelos modelos. **Conclusão:** os modelos Delay e Lokhorst são eficientes na previsão de curvas produção de ovos de aves das linhas testadas. A bondade de ajustar com o modelo de atraso pode ser melhorada com a inclusão de variáveis de entrada adicionais, tais como relações fisiológicas, relações de oferta, demanda de recursos e as variáveis ambientais. Permitindo que o modelo Delay ajuste as flutuações da curva.

Palavras chave: *análise de regressão, modelação, modelo matemático.*

Introduction

The onset of egg production is conditioned by several factors, including sexual maturity, weight, nutritional profile, and environmental conditions such as luminosity (Abad, 2003). The egg-laying curve begins at approximately 18 weeks of age, followed by peak production eight to nine weeks later, and subsequent persistence, defined as the number of weeks when production is constant post-peak. Next comes the declining phase, which extends until the exit of the batch (Grossman *et al.*, 2000). Some of the factors influencing egg production are body weight (Álvarez and Hocking, 2007), environmental conditions (i.e., temperature and humidity) (Abiodun *et al.*, 2006; Hester,

2005) especially thermoneutral or comfort zone for chickens (Rozenboim, 2007; Mashaly *et al.*, 2004), bacterial diseases (Peebles *et al.*, 2006), viral diseases (Sun *et al.*, 2009), respiratory or intestinal problems (Yegani *et al.*, 2008), and nutritional balance (Safaa *et al.*, 2008; Jewers, 1990; Flores, 1994; Gerber, 2006).

The use of mathematical modeling in animal production has allowed farmers and researchers to describe and understand biological processes and prioritize the aims of production research from identifying the study's components to evaluating the response variable's effects.

This mathematical abstraction of biological events helps identify problems and generate solutions without incurring the costs of experimenting or animal manipulation, while decreasing the time to find solutions according to the production system. But the efficiency and accuracy of the simulation depends on the actual knowledge of the system's situations and quality of information incorporated into the model (Bindya, 2010; Spedding, 1988).

The purpose of modeling the production curve in poultry eggs is to achieve a more detailed analysis of the egg production cycle and describe the curve phases and duration (Fialho, 2001). The curve also facilitates the production prediction, the long-term projection of eggs yield, and economic planning of production and decision-making, among others (Yang *et al.*, 1989; Groen *et al.*, 1998; Gavora *et al.*, 1982).

The egg production curve has been modeled using weekly production information (Miyoshi *et al.*, 1996) and logistic functions (Adams and Bell, 1980; Cason and Britton, 1988), polynomial functions (Bell and Adams, 1992), exponential functions (Foster *et al.*, 1987), segmented polynomials (Lokhorst, 1996; Narushin and Takama, 2003), and nonlinear models (Savegnago *et al.*, 2011).

The Adams-Bell and Lokhorst models have been compared to other models, such as the compartmental or McMillan model (McMillan, 1981), based on a logistic growth curve and modified compartmental models, by several researchers (Narushin and Takama, 2003; Lokhorst, 1996; Cason and Britton, 1988). These studies have concluded that both models have the best fit and suggest that the Adams-Bell and Lokhorst models can be used for describing and predicting the egg production curve (Lokhorst, 1996; Narushin and Takama, 2003; McMillan, 1981; Cason and Britton, 1988).

The Delay model has been successfully used to simulate population dynamics in various living organisms (Gutierrez *et al.*, 1984; Gutierrez *et al.*, 1988a; Gutierrez *et al.*, 1988b; Gutierrez *et al.*, 1991; Wermelinger *et al.*, 1992; D'Oultremont and Gutierrez, 2002). The Delay model, developed by Manetsch (1976) and modified by VanSickle (1977), could be used as an alternative model to predict egg production.

The Delay model can estimate the productive performance of a batch of birds by creating a population structure based on the number of individuals, age, or even changes in production, and by including therates of production decline (mortality) and increase (fecundity). Variations in production rates generate continuous entry and exit of individuals from each of the subsystem states. These variations are associated with the animal's physiological condition, changes in supply and demand of resources, and environmental factors. Therefore, the Delay model, structured by age, can be used to model egg production by considering eggs as the individuals in the system, and rate change in the number of eggs produced during a time period as the substates flow.

The aim of this study was to compare the Delay model with the Lokhorst (1996) and Adams-Bell (1980) mathematical models for their ability to model the egg production curve of Hy line Brown, Lohmann LSL, Isa Brown, and Lohmann Brownhen strains.

Materials and methods

Data

Weekly yield information, composed of 255 data (%), was used to fit the production curves. The weekly egg production rates (%) were calculated

as the ratio between the number of eggs laid per week and the average number of hens per week. For comparing the capacity of model fit, four curves of egg production with different shapes such as age at start of egg production, increase rate of the curve, maximum number of eggs, length after the peak of production, and total weeks of production were selected. The strains selected were: Hy Line Brown (HB), Lohmann LSL (LSL), Isa Brown (IB), and Lohmann Brown (LB). All birds were raised in the University of Antioquia's (Colombia) Hacienda La Montaña Farm, located at 6°19'19''N and 1°37'40''W, at 2,350 m above sea level, with 15 °C average temperature (22 °C maximum and 7 °C minimum temperature).

During the production period hens were housed in cages, ensuring 750 cm^2 per bird. Hens were fed according with the dietary recommendations of each line. Water was supplied *ad libitum*, and the environmental conditions (temperature and humidity) were not controlled.

Models

The Delay and the Adams-Bell (1980) and Lokhorst (1996) models were used for modeling the laying behavior of hens. According to Narushin (2003), Adams-Bell and Lokhorst can be used to accurately describe daily egg production.

According to Gutierrez (1996), the Delay model can be stated as:

$$r_1(t+\Delta t) = r_1 + \Delta t \frac{k}{DEL}[r_0(t) - r_1(t)] - \mu_1 r_1$$

$$r_2(t+\Delta t) = r_2 + \Delta t \frac{k}{DEL}[r_1(t) - r_2(t)] - \mu_2 r_2$$

.

.

.

$$r_q(t+\Delta t) = r_q + \Delta t \frac{k}{DEL}[r_{q-1}(t) - r_q(t)] - \mu_q r_q$$

Where: r_0 (t) is the number of eggs at the beginning of the production phase of the flock at time *t*. Now, r_q (t) is the number of eggs produced at the end of the system at time *t*. The duration of each substate is Δt. Variables r_1 (t), r_2 (t), ... , r_q (t) are termed "intermediate production rates" of the model, and refer to the increase in the number of eggs, according to the specific loss rate $\mu_i(t)$, with $i = 1,2,3,\ldots,q$; where $\mu_i(t)$ takes values between 1< μ_i <1 for time *t*. Exchange rates between states are based on the number of laid eggs entering from the previous intermediate flow, and the ones laid towards the end that pass to the next state. The DEL value is defined as the optimum length of the egg production period estimated by the model. The k parameter was obtained from the Erlang frequency distribution (Van Sickle, 1977). The k and DEL values allow the model to more accurately replicate the properties of the process being modeled (Manetsch, 1976).

The Adams-Bell model is shown below (Adams and Bell, 1980):

$$y_i = 100 * \left[\frac{1}{1 + a * b^{t_i}} - c * t_i + d\right] + \varepsilon_i$$

The Lokhorst model is shown below (Lokhorst, 1996):

$$y_i = \frac{100}{1 + a * r^{t_i}} - (b + c * t_i + d * t_i^2) + \varepsilon_i$$

Where: y_i is the production percentagefor the i^{th} week. Parameters *a* and *b* allow the model to adjust for initiation of production. The time period between the start of production and the peak of the curve is influenced by the *r* parameter. The weekly post-peak production decline rate (%) is determined by the value of parameter *c*. The slope of the final decrease is given by factor *d*. Variable t_i refers to the i^{th} age of the flock (weeks), and ε_i is the residual effect associated with the i^{th} time.

For both models (Adams-Bell and Lokhorst), production was expressed in percentage terms, calculated as the ratio between the number of eggs laid per week and the average number of hens per week. The percentage of eggs was multiplied by a theoretical population of 1000 hens in order to compare the Delay with the mathematical models.

Statistical analysis

The accuracy of the models was determined by:

1. Spearman correlation coefficient (r), which measures the strength of the linear relationship between each model's actual and estimated values. The r coefficient has values between -1 and 1, and values approaching zero show no relationship of dependence between variables. The correlation between actual and predicted number of eggs was performed using the CORR procedure (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) (2004).

2. Determination coefficient (R^2), which describes how well a regression line fits a set of data. R^2, in percentage values (0-100), is interpreted as the percentage change in the dependent variable due to changes in the independent variable, valuing the causal relationship between the two (explained and explanatory). To calculate the R^2 coefficient for each model a linear regression analysis was performed, with the number of eggs predicted as the dependent variable and the number of eggs observed as the independent variable.

3. Mean Absolute Deviation (MAD), which measures average absolute deviation of forecast from actual values:

$$\text{MAD} = \frac{\sum_{i=1}^{n} |y_i - \hat{y}_i|}{n}$$

Where y_i equals to the observed value at time i, $\hat{y}_i$ equals the estimated value, and n equals the number of observations.

In addition, the Durbin-Watson statistic (DW) was calculated to assess for auto-correlation, using the following equation:

$$DW = \frac{\sum_{t=1}^{n} (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} e_t^2}$$

Where n is the number of observations, and e_t is the residual value for time t; while e_{t-1} is the residual value for time t-1 (Durbin and Watson, 1951). The SAS 9.1 (SAS Institute Inc., 2004) and Microsoft Excel Solver® (Microsoft, 2010) was used for fit and compared the models.

Results

Egg production parameters of the commercial hen strains used to evaluate model fit appear in the table 1.

Table 1. Egg production of the commercial hen strains used to evaluate model fit.

Line	Maximum production	Initial week	Week maximum yield achieved	Week egg yield ended	Total number of weeks in production
HB	93.36%	19	25	80	63
LSL	96.75%	18	29	71	53
IB	91.21%	18	30	71	54
LB	91.13%	19	23	73	53

Hy Line Brown (HB), Lohmann LSL (LSL), Isa Brown (IB), Lohmann Brown (LB).

For the Delay model, parameter k value for HB was 28, while it was 40 for the other hen strains. Parameter DEL, which expresses the estimated mean duration of the productive period, was between 63 and 64 weeks. The decrease factor allows quantifying the extent to which productivity is steadily reduced after reaching the maximum weekly production, before the fast-decreasing phase starts (towards the end of the flock). The LSL had the highest decrease rate of productivity, with a daily proportion of 0.00737, which is roughly equivalent to 83 eggs/day/flock, followed by HB, whose rate was 0.004835, corresponding to 45 eggs/day/flock. The lowest rates occurred in LB and IB, corresponding to reductions of 39 and 31 eggs/day/flock, respectively (Table 2).

Table 2. Delay-model parameters for modeling the egg production curve in commercial egg layers.

Line	K	DEL	Decrease Factor*	Decrease (eggs/day)	Pre-laying**
HB	28	63	0.004835	45	2.3
LSL	40	64	0.007357	83	3.2
IB	40	63	0.003307	31	6.3
LB	40	63	0.004042	39	1.6

Hy Line Brown (HB), Lohmann LSL (LSL), Isa Brown (IB) and Lohmann Brown (LB). *Decline rate in post-peak egg production. **Duration (weeks) from production to peak.

For each hen line, the initial phase of rapid increase in productivity was modeled considering some of the initial compartments of the model as a pre-laying period (Table 2). This period was shorter for LSL, followed by LB, and finally by the HB. The longest period was for IB. Thispre-laying value generated by the model coincides with the time periods between the week when production started and the week of peak production, presented in table 1 for each hen line.

The values of all the coefficients of determination (R^2) were greater than 0.8, and Spearman correlation (r) values exceed 0.9 in eleven of twelve results (Table 3). The Delay and Lokhorst models had correlation values above 0.9, allowing us to conclude that both are efficient to model all bird strains tested. Delay and Lokhorst models had the highest values of R^2 and minimum values of MAD, except for Isa Brown strain, where the Delay model was exceeded by Lokhorst and Adams-Bell in both criteria.

According to the Durbin Watson (DW) test results in table 4, all models showed positive autocorrelation of residuals with DW values below 2. The ideal DW value is 2 (Grossman, 2000). For the HB flock, the highest DW value was the Delay model (0.64), and for the LSL, IB and LB strains, the highest values of DW were for the Lokhorst model with values of 1.85, 0.84 and 1.47, respectively.

Table 3. Determination coefficient (R^2), Spearman correlation (r) and MAD values for the egg production curve in commercial egg-laying hens fitted with models Delay Lokhorst and Adams-Bell*.

Hen Strain	Criteria	Model		
		Delay	Lokhorst	Adams-Bell
HB	R^2	0.95	0.88	0.81
	r	0.96	0.94	0.95
	MAD	440.90	410.40	501.19
LSL	R^2	0.93	0.99	0.92
	r	0.99	0.99	0.94
	MAD	160.24	113.46	330.91
IB	R^2	1.00	1.00	0.90
	r	0.95	0.99	0.72
	MAD	289.75	78.24	509.17
LB	R^2	0.84	0.91	0.89
	r	0.93	0.93	0.93
	MAD	224.41	117.03	140.00

Hy Line Brown (HB), Lohmann LSL (LSL), Isa Brown (IB) and Lohmann Brown (LB). *Showed highly significant differences ($p<0.001$) for Spearman correlation values. Spearman's correlation method was used in discrete variables, such as number of eggs.

Table 4. Durbin Watson contrast values of the egg production curve model in commercial hens.

Model	Hen strain			
	HB	LSL	IB	LB
Delay	0.6396**	1.0142	0.749**	0.6303**
Lokhorst	0.2321**	1.8522**	0.8434**	1.4698*
Adams-Bell	0.2588**	1.1214**	0.3181**	0.2582**

Hy Line Brown (HB), Lohmann LSL (LSL), Isa Brown (IB) and Lohmann Brown (LB). **Highly statistically significant ($p<0.01$). *Statistically significant ($p<0.05$).

Discussion

All four flocks exceeded 90% production, an optimal response in commercial egg-laying hens. The production difference was related to the precocity of the LB flock, which reached full production before the other flocks. Another difference is associated with production length, which is determined by management decisions. Production cycle of LSL, IB, and LB lasted 53 weeks on average, while HB averaged 63 weeks (Table 1). Based on these indicators, it can be seen that production curves for the four commercial

strains were different, allowing us to evaluate the ability of the models to fit the data.

Goodness of fit criteria indicated that the models provided a better fit to egg production data; R^2 and r were higher, and MAD was lower, but DW was not always closest to 2.

The DW criteria results can be explained by the time-series data often exhibiting positive autocorrelation, noncompliant with the independence of errors assumption. Therefore a positive error (negative) tends to be followed by another error positive (negative), generating a cyclical pattern.

The calculation of the parameters of Delay model is performed by linear and nonlinear optimization algorithms, from the change in the values of the parameters DEL and k, with the objective function of minimize the sum of the differences between observed and estimated values (error) using Microsoft Solver tool developed for mathematical simulation, optimization, and modeling. For this reason, estimation of the Delay model does not need to check the variance of the disturbance term assumptions (autocorrelated data), which is a functional advantage compared to Lokhorst and Adams-Bell models.

Due to age differences at production onset, maximum number of eggs, and persistence in decay phase of egg production curves, the models showed different performances in each line of birds evaluated. To show this, first the Lokhorst, Adams-Bell, and Delay models were sorted according to R^2 values within each hen strain. The models were sorted as follows: HB (Delay, Lokhorst, and Adams-Bell), IB and LSL (Lokhorst, Delay, and Adams-Bell), and LB (Lokhorst, Adams-Bell, and Delay). After averaging R^2 and r-values of the four lines evaluated, Lokhorst ranked first (R^2= 0.95, r = 0.96), followed by Delay (R^2= 0.93, r =0.96) and finally Adams-Bell (R^2= 0.88, r = 0.89). In both analyses, the Lokhorst and Delay models were ranked first or second; these results showed the Delay model performance was similar to Lokhorst in the production curve estimation process of the four lines evaluated, and evidence the effect of each curve on prediction ability of all models.

The prediction of models is shown in figure 1, where the Delay model yielded higher estimated values compared to the recorded data, especially during the post-peak production phase. This model underestimated the starting point of the curve for LB, whereby the MAD value for Delay model was higher than the other models. The model had its best performance in IB and HB curves, especially the best fit in the final production phase of HB line (weeks 49 to 63), compared with the other two models.

The Lokhorst model showed the best fit for LB and LSL curves, accurately describing the increase of the curve, the peak of production, and the downward trend near the end of the curve. However, the model underestimated peak production and failed to predict the irregularities in the HB production curve.

The Adams-Bell model had the best fit in LB strain. However, in the other three lines of hens this model failed to fit the start, the raising phase or peak of egg production curve, and thus achieved the highest MAD values. Regarding the fit flaws of Adams-Bell model, Lokhorst (1996) claims they are due to the assumption of 100% maximum production along with the linear decrease in egg production.

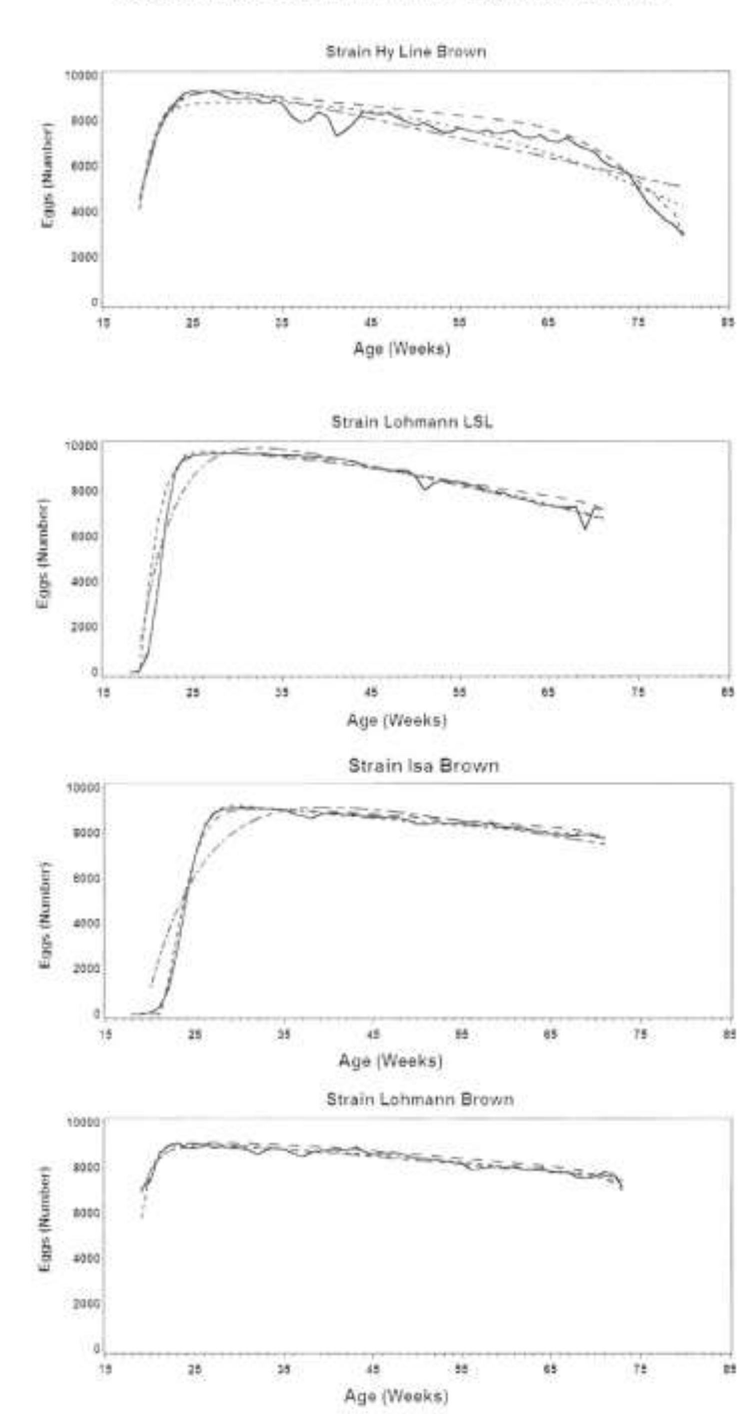


Figure 1. The graphs shows three models for the weekly egg production curves in commercial layers using Dolay (---), Lokhorst (- - - -), Adams-Bell model (— –), and experimental records (——) for Hy Line Brown, Lohmann LSL, Isa Brown, and Lohmann Brown strains.

Despite the good overall performance of all models in estimating number of eggs per week, none of the models were able to reproduce the fluctuations between the maximum and the final production stages in HB strain due to the lack of accurate production fluctuation cause records.

In conclusion, based on the values of r, R^2 and MAD, both Lokhorst and Delay model have similar prediction ability. This indicates there are several models that fit egg production curves of the four lines of birds evaluated.

On this basis, Delay and Lokhorst are the models recommended to adjust the egg production curve, although the first model has advantages, such as biological interpretation of the parameters, in that it does not require assumption validation for parameter estimates. Most important is the possibility of including other biological characteristic variables, such as environmental factors (temperature, relative humidity, etc.), or the relationship of supply/demand for resources in the system, allowing the model can estimate the fluctuations and variability in the egg production curve.

Acknowledgments

The authors wish to thank Departamento de Formación Académica de Haciendas de la Universidad de Antioquia for data collection. This research was funded by Universidad de Antioquia (CODI Sostenibilidad 2013 Código E01727, and Mediana cuantía Código E01533) and Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS) (Convocatoria Nacional para Estudios de Doctorados en Colombia año 2011).

References

Abad M. Reproducción e incubación en avicultura. Real Escuela de Avicultura. España; 2003.

Abiodun OE, Adedapo A. The effect of climate on poultry productivity in Ilorinkwara state, Nigeria. Int J Poult Sci 2006; 5:1061-1068. URL: http://www.pjbs.org/ijps/fin728.pdf

Adams CJ, Bell DD. Predicting poultry egg production. Poult Sci 1980; 59:937-938.

Álvarez R, Hocking PM. Stochastic model of egg production in broiler breeders. Poult Sci 2007; 86:1445-1452.

Bell DD, Adams CJ. First and second cycle egg production characteristics in commercial table egg flocks. Poult Sci 1992; 71:448-459.

Bindya LA, Murthy HNN, Jayashankar MR, Govindaiah MG. Mathematical models for egg production in an indian colored broiler dam line. Int J Poult Sci 2010; 9:916-919.

Cason JA, Britton WM. Education and production comparison of compartmental and Adams-Bell models of poultry egg production. Poult Sci 1988; 67:213-218.

D'oultremont T, Gutiérrez AP. A multitrophic model of a rice-fish agroecosystem II: Linking the flooded rice-fishpond systems. Ecol Model 2002; 155:159-176.

Durbin J, Watson GS. Testing for serial correlation in least squares regressions II. Biometrika 1951; 38:159-178.

Fialho FB, Ledur MC, Avila VS. Mathematical model to compare egg production curves. Rev Bras Cienc Avic 2001; [Accessed April 21, 2013] URL: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-635X2001000300002&lng=en&nrm=iso.

Flores A. Programas de alimentación en avicultura: ponedoras comerciales. In: Documentos FEDNA - X curso de especialización FEDNA. Madrid, España 1994; [Accessed December 2012] URL: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Alimentaci%C3%B3n__Gallinas_Ponedoras.pdf.

Foster WH, Robertson DV, Belyavin CG. Fore-casting egg production in commercial flocks. Br Poult Sci 1987; 28:623-630.

Gavora JS, Liljedahl LE, McMillan I, Ahlen K. Comparison of three mathematical models of egg production. Brit Poult Sci 1982; 23:339-348.

Gerber N. Factors affecting egg quality in the commercial laying hen: A review. Egg Producers Federation of New Zealand Inc. 2006; [Accessed December 10, 2012] URL: http://eggfarmers.org.nz/eggfarmers/wp-content/uploads/2012/04/factors_affecting_egg_quality.pdf

Groen AF, Jiang X, Emmerson DA, Vereijken A. A deterministic model for the economic evaluation of broiler production systems. Poult Sci 1998; 77:925-933.

Grossman M, Gossman TN, Koops WJ. A model for persistency of egg production. Poult Sci 2000; 79:1715-1724.

Gutiérrez AP, Dos Santos WJ, Pizzamiglio MA, Villacorta Am, Ellis CK, Fernandez CAP, Tutida I. Modelling the interaction of cotton and the cotton boll weevil. ii. Cotton boll weevil (*Anthonomus grandis*) in Brazil. J Appl Ecol 1991; 28:398-418.

Gutierrez AP, Pizzamiglio MA, Dos Santos WJ, Tennyson R, Villacorta AM. A general distributed delay time varying life table plant population model: Cotton (*Gossypiumhirsutum*)

growth and development as an example. Ecol Model 1984; 26:231-249.

Gutierrez AP, Wermelinger B, Schultess F, Baumgärtner JU, Herren HR, Ellis CK, Yaninek JS. Analysis of biological control of cassava pests in Africa. I. Simulation of carbon, nitrogen and water dynamics in cassava. J Appl Ecol 1988a; 25:901-920.

Gutierrez AP, Yaninek JS, Wermelinger B, Herren HR, Ellis CK. Analysis of biological control of cassava pests in Africa. III. cassava green mite *Mononychellustanajoa*. J Appl Ecol 1988b; 25:941-950.

Gutierrez AP. Applied population ecology: A supply-demand approach. New York: John Wiley&Sons Inc.; 1996.

Hester PY. Impact of science and management on the welfare of egg laying strains of hens. Poult Sci 2005; 84:687-696.

Jewers K. Mycotoxins and their effect on poultry production. Options Mediterraneennes-L'aviculture en Méditerranee (N° 7) 1990; [Accessed December 10, 2012] URL: http://www.2ndchance.info/goutjewersmycotoxins.pdf

Lokhorst C. Mathematical curves for the description of input and output variables of the daily production process in aviary housing systems for laying hens. Poult Sci 1996; 75:838-848.

Manetsch TJ. Time-varying distributed delays and their use in aggregate models of large systems. IEEE transactions on systems, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. 1976; 6:547-553.

Mashaly MM, Hendricks GL, Kalama MA, Gehad AE, Abbas AO, Patterson PH. Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. Poult Sci 2004; 83:889-894.

McMillan I. Compartmental Model analysis of poultry egg production curves. Poult Sci 1981; 60:1549-1551.

Microsoft. Microsoft Excel Solver. Redmond, Washington, USA. 2010; [Accessed December 10, 2012] URL: http://office.microsoft.com/es-es/excel-help/solver-HP005198368.aspx

Miyoshi S, Luc KM, Kuchida K, Mitsumoto T. Application of non-linear models to egg production curves in chickens. Jpn Poult Sci 1996; 33:178-184.

Narushin VG, Takma C. Sigmoid model for the evaluation of growth and production curves in laying hens. Biosystems Engineering 2003; 84:343-348.

Peebles ED, Basenko EY, Branton SL, Whitmarsh SK, Maurice DV, Gerard PD. Effects of S6-strain *Mycoplasma gallisepticum* inoculation at ten, twenty-two, or forty-Five weeks of age on the egg yolk composition of commercial egg-laying hens. Poult Sci 2006; 85:1502-1508.

Rozenboim I, Tako E, Gal-Garber O, ProudmanJA, Uni Z. The effect of heat stress on ovarian function of laying hens. Poult Sci 2007; 86:1760-1765.

Safaa HM, Serrano MP, Valencia DG, Frikha M, Jiménez-Moreno E, Mateos GG. Productive performance and egg quality of brown egg-laying hens in the late phase of production as influenced by level and source of calcium in the diet. Poult Sci 2008; 87:2043-2051.

SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide: Version 9.1.3. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA. 2004.

Savegnago R, Nunes BN, Caetano SL, Ferraudo AS, Schmidt GS, Ledur MC, Munari DP. Comparison of logistic and neural network models to fit to the egg production curve of White Leghorn hens. Poult Sci 2011; 90:705-711.

Spedding CRW. An introduction to agricultural systems. 2nd ed. London and New York: Elsevier App Sci Publisher; 1988.

Sun Q, Li W, She R, Wang D, Han D, Li R, Ding Y, Yue Z. Evidence for a role of mast cells in the mucosal injury induced by Newcastle disease virus. Poult Sci 2009; 88:554-561.

Van Sickle J. Attrition in distributed delay models. IEEE Tras Syst Manag Cybern. 1977; 7:635-638.

Wermelinger B, Candolfi MP, Baumgärtner J. A model of the european red mite (*Acari:Tetranychidae*) population dynamics and its linkage to grapevine growth and development. J Appl Entomol 1992; 114:155-166.

Yang N, Wu C, McMillan I. New mathematical model of poultry egg production. Poult Sci 1989; 68:476-481.

Yegani M, Korver DR. Factors affecting intestinal health in poultry: Review Poult Sci 2008; 87:2052-2063.

Capítulo 4. Curve modeling and forecasting of daily egg production with the use of recurrent neural networks

Este artículo obedece al desarrollo de los objetivos específicos:

- Establecer el modelo que mejor ajusta la curva del ciclo productivo del ave de postura.
- Diseñar y evaluar un sistema de información de apoyo a la toma de decisiones para sistemas de producción avícola de huevo comercial.

Con este documento se incorpora la participación de un grupo de investigación internacional, como resultado de la pasantía internacional. Además, se identificaron las Redes Neuronales Recurrentes y el Perceptrón Multicapa como los mejores modelos para ajustar la curva de producción de huevos y en especial para predecir la producción a futuro. Ambos modelos se usaron en el Sistema de Gestión de Información para Granjas Avícolas.

El artículo se escribió con el formato para evaluación en la revista Poultry Science (Anexo 5)

Curve modeling and forecasting of daily egg production with the use of recurrent neural networks

Luis Galeano-Vasco[1], Inés M. Galvan[2], Ricardo Aler[2], Mario Cerón-Muñoz[1],
[1]Grupo investigación GaMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. [2]Grupo investigación EVANNAI, Departamento de Informática, Universidad Carlos III de Madrid, Butarque 15, 28911, Leganés, Madrid, España.

Corresponding author: Luis Fernando Galeano Vasco, GaMMA research group, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Carrera 75 # 65-87 Medellín, Colombia. Tel: 0057 4 2199140, Fax: 0057 4 2199100, Email: gavo76@gmail.com

Abstract

The objectives of this study were to compare the capacity of curve fitting daily egg production to neural network multilayer perceptrons (MLP) and Lokhorst mathematical model (MM) and to evaluate the ability of neural networks (MLP) and recurrent neural networks Elman (RNNE) and Jordan (RNNJ) as models for the forecasting of daily egg production in commercial laying hens from the daily records of egg production from the first 12 cycle commercial layer flocks, for a total of 4650 data of daily egg production. The models used were Lokhorst, neural networks multilayer perceptron, recurrent neural network Jordan and Elman; all were validated and contrasted with MAD, MAPE, MSE determination (R^2) and correlation (CORR) coefficients. The MLP and MM models provide adequate adjustments for production curve, with correlation values greater than 0.95 and accounting for more than 95% of the variability in daily egg production (R^2). Forecastingwise, MLP is a technique with acceptable accuracy, and since its variation (SD) is less than the other models tested, the MLP model is recommended as a tool for fitting and prediction of daily egg production curve in commercial hens.

Key words: *Egg production, Forecast, Lokhorst, Neural network, Multilayer perceptron, Recurrent neural network*

Introduction

The administration of a livestock enterprise requires extensive knowledge of the production processes. The characterization of the components allows the producers to identify the critical points, evaluate alternative solutions to problems and most importantly, to make real-time decisions.

In poultry production, the comparison between the real egg production curve and the graph proposed by management guides, aims towards continuous performance evaluation of batch production per week. The main problem with this type of evaluation is that it is done in retrospective form, because the weekly analysis is made with productive results of week t-1; and if in period t-1 productive losses or problems in poultry production occurred, for the poultry farmer it is impossible to recover from them. The only alternative left is to apply correctives to prevent decreases in egg production in period t and t+1.

Commonly, in the process of creation and adaptation of the different types of models representing the production curve of commercial laying hens production information is used at weekly intervals (Miyoshi et al., 1996), logistic functions (Adams and Bell, 1980; Cason and Britton, 1988), polynomial functions (Bell and Adams, 1992), exponential functions (McNally, 1971; Gavora et al., 1982), segmented polynomials (Lokhorst, 1996; Narushin and Takama, 2003), nonlinear models (Savegnago et al., 2011; Galeano *et al*., 2013a), linear mixed effect models (Wolc et al., 2011) and neural networks (Savegnago et al., 2011). These models are characterized by trying to analyze the process of egg production, to describe the relation between the number of eggs and time of laying period, and to estimate future total production using partial records and projecting egg production based on market needs (Groen et al., 1998; Gavora et al., 1982; Yang et al., 1989). Furthermore these models use

as a variable weekly production or greater periods of time and their predictions are short term.

Several authors have demonstrated the advantages of the use of artificial neural networks in the adjustment, prognosis and prediction of data compared to other techniques (Ahmadi et al., 2001; Ahmadi and Golian 2008; Ahmad, 2011; Savegnago 2011). These researchers put particular emphasis on the use of Multilayer Perceptron network (MLP) because of its great capacity for data collection, flexibility and ease of adjustment. They also mention the ability of MLP to incorporate any type of data without meeting the statistical assumptions (normality, homoscedasticity, independence, etc.) when a model is estimated. But the most important feature of the MLP is its ability to learn and itself restructure, making it a model that is constantly adapting (Galeano et al, 2013B; Behmanesh and Rahimi, 2012).

A computational model more powerful than the MLP is the recurrent neural network (RNN), which is characterized by the presence of feedback connections from one neuron to itself, between neurons in the same layer and between neurons of one layer to a previous layer. These connections enable the system to remember the previous state of certain neurons in the network. Partially recurrent neuronal networks are a type of recurrent neural networks that are characterized by the use of a few recurrent connections. The input layer of these networks consists of comprised context neurons, which receive recurring connections, and the input neurons which act as receptors of network data input (Galvan and Zaldívar 1997; Pérez, 2002).

The most popular partially recurrent networks are the Elman and the Jordan networks. In the Jordan network (1986), the context neurons receive a connection from the output neurons and themselves. In this model the recurrent connections have an associated parameter. Elman (1990) proposed a model in which context neurons receive a connection of the hidden neurons of the network, whereby the

number of context neurons in the input layer depends on the number of neurons in the hidden layer. Elman and Jordan networks are also known as simple recurrent networks or partially recurrent networks (Galvan I, Zldívar J., 1997).

This research was carried out to compare the capacity of curve fitting daily egg production of neural networks (MLP) and Lokhorst mathematical model and to evaluate the ability of neural networks (MLP) and recurrent neural networks (Elman and Jordan) as models for the prediction of the daily egg production in commercial laying hens.

Materials and methods

Data

The data was recollected from the daily records of egg production from the first 12 cycle commercial layer flocks, for a total of 4650 data of daily egg production. The flocks began production between 19-23 weeks of age, with an average duration of the productive cycle of 54 weeks and a maximum duration of 70 weeks in production (90 weeks old). All egg production data was recorded daily in a database and was expressed as the number of eggs per day. During the production period hens were housed in cages, ensuring 750 cm^2 per bird. Hens were fed according to the dietary recommendations of each line. Water was supplied *ad libitum*, and the environmental conditions (temperature and humidity) were not controlled.

For fitting the model the variables (age and daily number of eggs) used were normalized (1) in accordance with equation (Savegnago et al., 2011):

$$\mathrm{x}_n = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \qquad (1)$$

Where x_n is the new variable after the normalization process, x_i is the original variable, x_{min} and x_{max} are the minimum and maximum value value for the ith variable, respectively.

Models

The Lokhorst model in equation 2 (Lokhorst, 1996):

$$\hat{y}_i = \frac{m}{1 + a * r^{t_i}} - (b + c * t_i + d * {t_i}^2) + \varepsilon_i \qquad (2)$$

Where: $\hat{y}_i$ is the number of eggs for the i^{th} day old flock. Parameters *a* and *b* allow the model to adjust initiation of production. The time period between the start of production and the peak of the curve is influenced by the *r* parameter. The weekly decline-rate production after the peak is determined by the value of parameter *c*. The slope of the final decrease is given by factor *d*. Variable t_i refers to the i^{th} age of the flock (days), and ε_i is the residual effect associated with the i^{th} time.

In the original model proposed by Lokhorst, the numerator of the first term was 100, as this is the maximum productive percentage that the flock can achieve. But trying to fit the model to data from the number of eggs per day did not reach convergence, because of this the parameter *m* was incorporated in the model. The value of *m* refers to the maximum value of daily eggs layed.

Neural networks models: For these models the input variables were the age (days), number of eggs, and the values of production in the time (*t*-*i*), with *i* = 1, 2,.., 5 days. The output neuron was daily egg production.

1) The Multilayer perceptron equation 3.

$$\hat{y}_i = f\left(b_0 + \sum_{j=1}^{r} w_j\, f\left(b_{0j} + \sum_{i=1}^{n} w_{ij}\ \ x_i\right)\right) \quad (3)$$

Where $\hat{y}_i$ denotes the vector of output values, *r* is the number of hidden neurons, b_0 and b_{0j} are the bias and denotes the value of intercept of the output neuron and

intercept of the j^{th} hidden neuron, respectively. The term $(\sum_{i=1}^{n} w_{ij}\ x_i)$ is defined as a propagation function, where is added the product of the synaptic weight vector w_{ij} and the vector of input variables x_i . In this work, input vector x is given by $(t_i,\ y_{i-1}, \ldots, y_{i-n})$. The synaptic weight corresponding to the synapse starting at the j^{th} hidden neuron is defined w_j, and f is the activation function or transference.

2) Recurrent neural network Jordan (1986)

$$\hat{y}_i = f\left(b_0 + \sum_{j=1}^{r} w_j\, f\left(b_{0j} + \sum_{i=1}^{n} w_{ij}\ x_i\,(t) + \sum_{i=1}^{n} v_{ij}\ c_i(t)\right)\right) \qquad (4)$$

Activation of the context neurons in t:

$$c_i(t) = \varphi c_i(t-1) + \hat{y}_{i-1} \qquad (5)$$

Where x_i is the vector of input variables (in this work $(t_i,\ y_{i-1}, \ldots, y_{i-n})$.), $c_i(t)$ is the context neurons, for *i*= 1, 2,…, m, with *m* equal to number of network outputs (in this work m=1), *r* is the number of hidden neurons, φ is the associated parameter c_i that usually takes a constant value $(0 \leq \varphi < 1)$ in equations 4 and 5.

3) Recurrent neural network Elman

$$\hat{y}_i = f\left(b_0 + \sum_{j=1}^{r} w_j\, f\left(b_{0j} + \sum_{i=1}^{n} w_{ij}\ x_i\,(t) + \sum_{i=1}^{n} v_{ij}\ c_i(t)\right)\right) \qquad (6)$$

Activation of the context neurons in t:

$$c_i(t) = a_i(t-1) \qquad (7)$$

Where x_i is the vector of input variables (in this work $(t_i,\ y_{i-1}, \ldots, y_{i-n})$) and $c_i(t)$ is the context neurons, for *i*= 1, 2,…, *r*, with *r* equal to number of hidden neurons, and $a_i(t-1)$ are the activations of these neurons at time t - *1*.

In Neural networks models, the activation function used in the input and hidden neurons was the sigmoid, as shown in equation 8; whereas in the output and context neuron was used as a linear activation function (9).

Sigmoid activation function

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (8)$$

Linear activation function

$$f(x) = x \quad (9)$$

In order to fulfill the objective of adjusting the daily egg production curve, the MLP structure was defined through previous trials comparing different combinations: number of productive days previous to day (ti), value of the learning ratio, value of the momentum parameter, number of iteraciones in the network and number of occult neurons. Finally, the network that offered the lowest error value was selected.

For the forecasting process besides the criteria evaluated for the fitting of the production curve, combinations were also tried between day of production to where the network is trained (T) and estimated number of days (h).

Statistical Analysis

The accuracy of the models was determined by:

1) Pearson's correlation coefficient (COR), that measures the strength of the linear relationship between values estimated by each model and the actual values. The coefficient has values between -1 to 1, and values approaching zero show no relationship of dependence between variables. The correlation between actual and predicted number of eggs was performed using the "cor.test" function (R Development Core Team, 2013)

2) Determination coefficient (R^2), used to describe how well a regression line fits a set of data. R^2 and is interpreted as the percentage change in the dependent

variable due to changes in the independent variable, valuing the causal relationship between the two variables (explained and explanatory). To calculate the R^2 coefficient for each model was performed a linear regression analysis, considering the number of eggs predicted by the model as the dependent variable and the number of eggs observed in each week as the independent variable. For this, we used the function "lm" of the statistical *software* R-project (R Development Core Team, 2013).

3) Mean Square Error (MSE).

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n} |y_i - \hat{y}_i|^2}{n} \qquad (10)$$

4) Mean Absolute Deviation (MAD).

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{n} |y_i - \hat{y}_i|}{n} \qquad (11)$$

5) Mean Absolute Percentage Error (MAPE), consider the effect of the magnitude of error values.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right|}{n} x\ 100, \ (y_i \neq 0) \qquad (12)$$

Where y_i is the observed value at time *i*, $\hat{y}_i$ is the estimated value, and *n* equals to the number of observations in equations 10, 11 and 12.

Results and Discussion

Curve fitting

For the curve fitting, the productive information of 12 flocks was used to compare the ability of models MLP and Lokhorst to adjust to the egg production curve. The flocks were ordered and numbered from 1 to 12 based on the value of MSE for MLP, where

the flock 1 being the lowest MSE and 12 the highest MSE (Table 1). In test phase for MLP and MM models were used 1797 data equivalent to 40% of the total information. The remaining data was used to train the models.

MLP model was structured with three neurons in the input layer (age, production in two previous days, this is t_i, y_{i-1} and y_{i-2}), one hidden layer with five neurons and one neuron in the output layer corresponding to the number of eggs at i-th day, $\hat{y}_i$. The number of hidden neurons, values of learning rate and momentum were determined by pretesting, where the structure selected was the one that offered lowest estimation error.

Both models provide acceptable adjustments for the production curve, with correlation values greater than 0.95 and reaching to explain more than 95% of the variability in daily egg production (R^2) (Table 1). However, the MLP network had better predictions to incur an average error of only 50 eggs/day (MAD). Similar results of correlation coefficients were reported by Savegnago et al., (2011), which compared MLP with logistic model and found better performance by the neural network to fit the curve of weekly egg production.

Another advantage of the networks was that the model MM had to estimate six parameters, and in order to do that seed values were needed (starting values). The selection of wrong initial values did not allow the start of the iterations and the model did not converge, so it became very tedious and slowed the adjustment process of MM.

MLP has a setting closer to the changes presented in the production curve, while the MM does not (Figure 1). It should be noted that although the three flocks have variations or fluctuations in production, the 12th has the strongest falls with average declines of 590 eggs / day and are not cyclical or are associated with any repetitive pattern that allows models to learn and reproduce these changes. These variations in production may be associated with environmental factors, heterogeneity of the

hens to reach sexual maturity, disease in birds or other factors that directly or indirectly influence the productive response of the bird like management activities (Galeano et al., 2013).

Forecasting ability

In this section, the aim was to predict the future production. Based on information at i-th day, the aim was to know the production at day *i+h,* $(\hat{y}_{t+1}, \hat{y}_{t+2}, \ldots, \hat{y}_{t+h})$, where *h* was equal to 7, that is after a week. Thus, neural networks (MLP), recurrent neural networks Elman (RNNE) and Jordan (RNNJ) was used. To evaluate the ability of models to predict the daily egg production in commercial laying hens, three neural models were structured by a neuron output (number of eggs per day, y_{i+1}), a hidden layer with 10 neurons and an input layer with information of age (t_{i+1}), and production in five previous days, this is y_{i-s} with s: 0, 1, ..., 4, and the context neurons to RNNE and RNNJ. The values obtained from the prediction of the daily egg production for each period T are the average of the four runs (L) of each one of the models compared (Table 2).

Of the 12 lots previously evaluated with MLP and MM were selected best fitting curves. But in the data used to train and test the models MLP, RNNR and RNNJ the initial production phase (days 1-26) was not included, this is because both the MLP as MM had higher estimation errors at this stage. This adjustment problem in the initial phase of the curve of egg production was reported by Shiv and Singh (2009) who showed that the models have difficulty adjusting the high and fast rate of increase in production in a short time and then move a slow and prolonged rate of decrease in the number of eggs at the end of the curve

The information of daily egg production for the flock 1 between days 27 to 398 (data 372) (Figure 2). This curve shows a variability in the egg production with no apparent pattern or seasonality. The red dots in the figure indicate the points selected for prediction. For T = 100, the network is trained with the first 100 data and made the prediction of T+h days, just as was done for T = 200 and T = 300, where the network is trained with data 200 and 300, respectively.

The results obtained in the estimation of future values of production, the valuation of the estimation error (MSE and MAD) and the mean and deviation of the models with a total of four times that the models were run for each value of T (100, 200 and 300) respectively. The *h* value was maintained in all of the tests because the end point for decision-making and projection of production was considered as one week (7 days). Previous evidence on the change in number of periods (s = 1, 2, ..., 4) did not significantly increase the estimation error, so the networks included as inputs corresponding neurons to five production periods $t_{i\text{-}s}$ (Table 2).

As far as the increased value of T is concerned, one would expect that the neural networks with a greater number of learning data should have a better fit and that the MAD and MSE values should decrease. But as it is shown for values of T=300, the models RNNE and MLP increased their error value in regards to T=100 and T=200. This increase in the error at T = 300, can be associated with the decrease in the egg production values of 6% (220 eggs) on day 299 (Figure 2).

To perform the data estimation of the daily egg production, each model was tested four times for each T value. In figure 3, the estimation of the medium for the RNNE is shown, where the approximations are closest to the real data for T=100 and 200, followed by MLP. For T=300 the model RNNJ had the closest prediction value.

One aspect observed in the analysis of the values predicted in the daily egg production is the great variability present in each one of the models estimated. Calculating the standard deviation for each period T the results were 27.87, 50.47 y 4.57 for RNNE, RNEJ y MLP respectively. This is evidence of the disarray of the full amount of values obtained in the prediction on behalf of the model RNNE being this one less precise than MLP. However when comparing its error values (table 2) the RNNE model is less byassed making it a more precise model compared to MLP.

The MLP model is a technique with an acceptable accuracy, since its variation (SD) is less than the other models tested for each T; but it is not an exact estimation technique, due to the fact that their predicted values differ from the expected value of eggs produced per day. However the average error was of 54 eggs in three tests (T= 100, 200 and 300), equivalent to an approximate deviation of 1.2% of production per day (Table 3, Figure 3).

Conclusions

The MM model was overtaken by MLP because it more accurately fits the curve of daily egg production; it even follows the variations present in the observed data in time. To increase the adjustability and accuracy of MLP, the inclusion of other variables is required, which correspond to instants in previous time in order to adjust to changes and variations present in the egg production curve.

In general, the estimation of RNNE, RNNJ and MLP in the forecasting process follows the trend of the training data, but as the production values change abruptly, it is difficult to correctly predict subsequent changes at point T. For this reason, it is necessary to implement other alternatives such as smoothing functions, used as input variables for longer periods of production, thus decreasing its variation. Also to include new input variables that help explain the changes in production.

The MLP model with the inclusion of i-s (s = 1, 2, ..., 5) periods of production provide an acceptable fit in predicting the trend of production curve, but it is not an exact prediction technique.

In order to improve the predictive ability of the model, it is necessary to identify the causes of variations in production, reason for which the inclusion of environmental variables is proposed, such as feed intake, nutrient intake, amount of water ingested, and handling activities, among others, as input variables in the MLP model. Also attempts to try longer periods of prediction (more than one week of production), and

to evaluate periods of more than one day of production, with aims to reduce the variability in the input data and improve model accuracy.

Future evaluation of alternative models is also proposed: the method of moving averages, exponential smoothing, segmented polynomials and generalized additive models, among others.

Table 1. Results of curve fitting of daily egg production with the use of MLP and MM

Flock	n*	MSE		MAD		MAPE		COR*		R^2	
		MLP	MM	MLP	MM	MLP	MM	MLP	MM	MLP	MM
1	161	11.34	10332.09	2.48	82.95	0.06%	1.86%	1.000	0.985	0.998	0.986
2	111	1509.25	3206.53	27.88	44.26	0.53%	0.81%	0.998	0.997	0.997	0.993
3	111	2149.99	4575.54	34.43	53.93	0.48%	0.76%	0.999	0.997	0.998	0.995
4	138	4503.00	31930.51	47.96	120.94	0.88%	2.22%	0.996	0.970	0.993	0.975
5	187	5248.72	38545.73	49.38	157.04	0.68%	2.04%	0.999	0.993	0.975	0.918
6	134	5649.96	18465.45	55.61	102.58	0.92%	1.67%	0.987	0.958	1.000	0.971
7	169	5808.53	20666.92	54.00	118.29	0.95%	1.98%	0.997	0.987	0.999	0.983
8	195	5907.48	63012.30	47.38	207.53	0.77%	3.22%	0.999	0.992	0.976	0.959
9	159	7923.65	24068.24	57.78	120.44	0.59%	1.21%	0.998	0.993	0.996	0.986
10	136	8554.77	17307.52	61.84	98.18	1.00%	1.49%	0.995	0.990	0.992	0.941
11	166	21252.53	98716.19	81.86	202.17	1.47%	3.53%	0.980	0.903	0.961	0.815
12	130	23035.37	40030.27	81.97	120.61	1.05%	1.57%	0.988	0.979	0.991	0.981
Mean	149.8	7629.55	30904.77	50.21	119.08	0.78%	1.86%	0.995	0.979	0.990	0.959
SD	27.39	7230.19	27214.34	21.92	50.48	0.35%	0.84%	0.006	0.027	0.012	0.050

Where **n** is the number of data used to validate models, **SD**: standard deviation, **MLP**: Neural network Multilayer perceptron, **MM**: mathematical model of Lokhorst, **MSE**: Mean Square Error, **MAD:** Mean Absolute Deviation, **MAPE**: and **R^2**: determination coefficient. ***COR**: Pearson's correlation coefficient, was statistically significant ($p<0.05$).

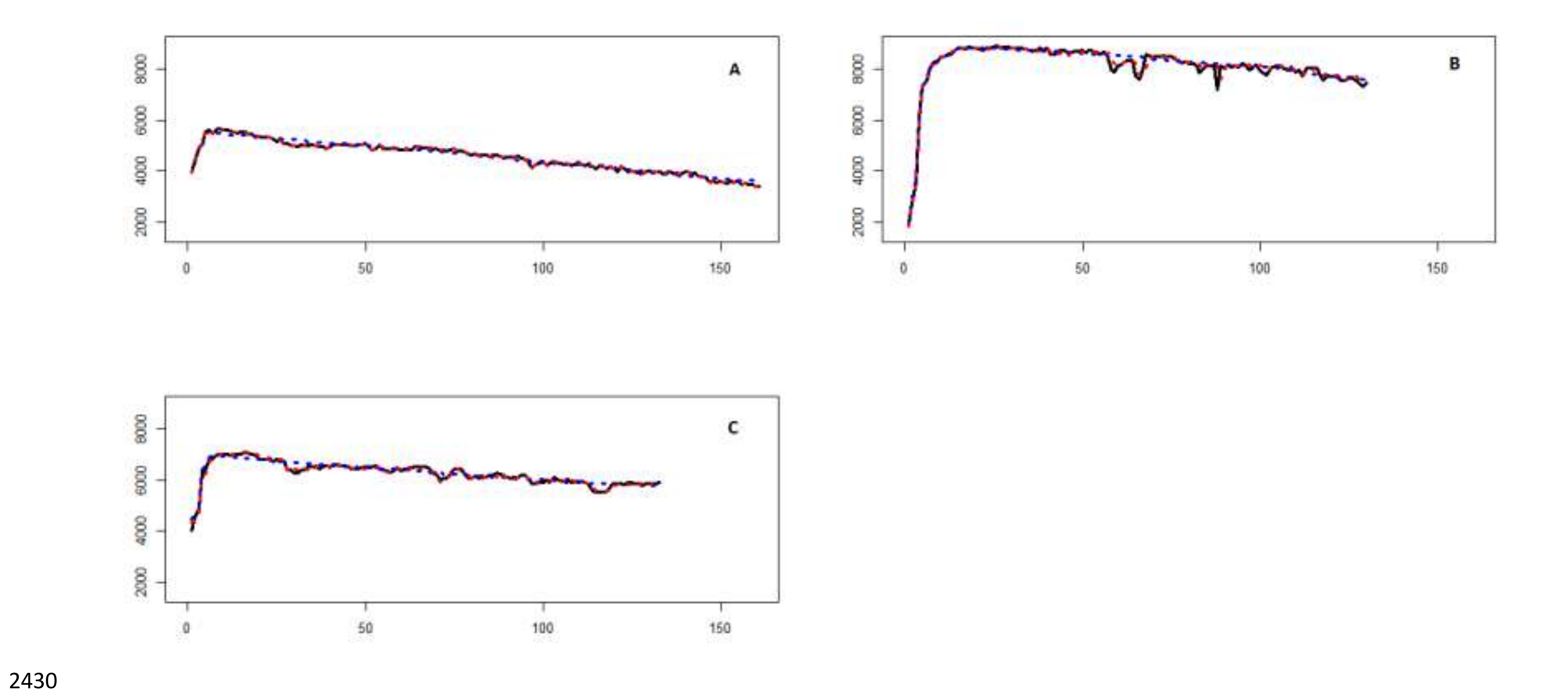


Figure 1. Observed data of daily egg production. A= Flock 1. B= Flock 6. C= Flock 12. Validation set (▬▬▬ : flocks 1, 6 and 12) and the values fitted using mathematical model of Lokhorst (▬ ▬ ▬ ▬ : MM) and multilayer perceptron (▬ ▬ ▬ ▬ : MLP) in the testing phase. Axis x= Days. Axis y= number of eggs.

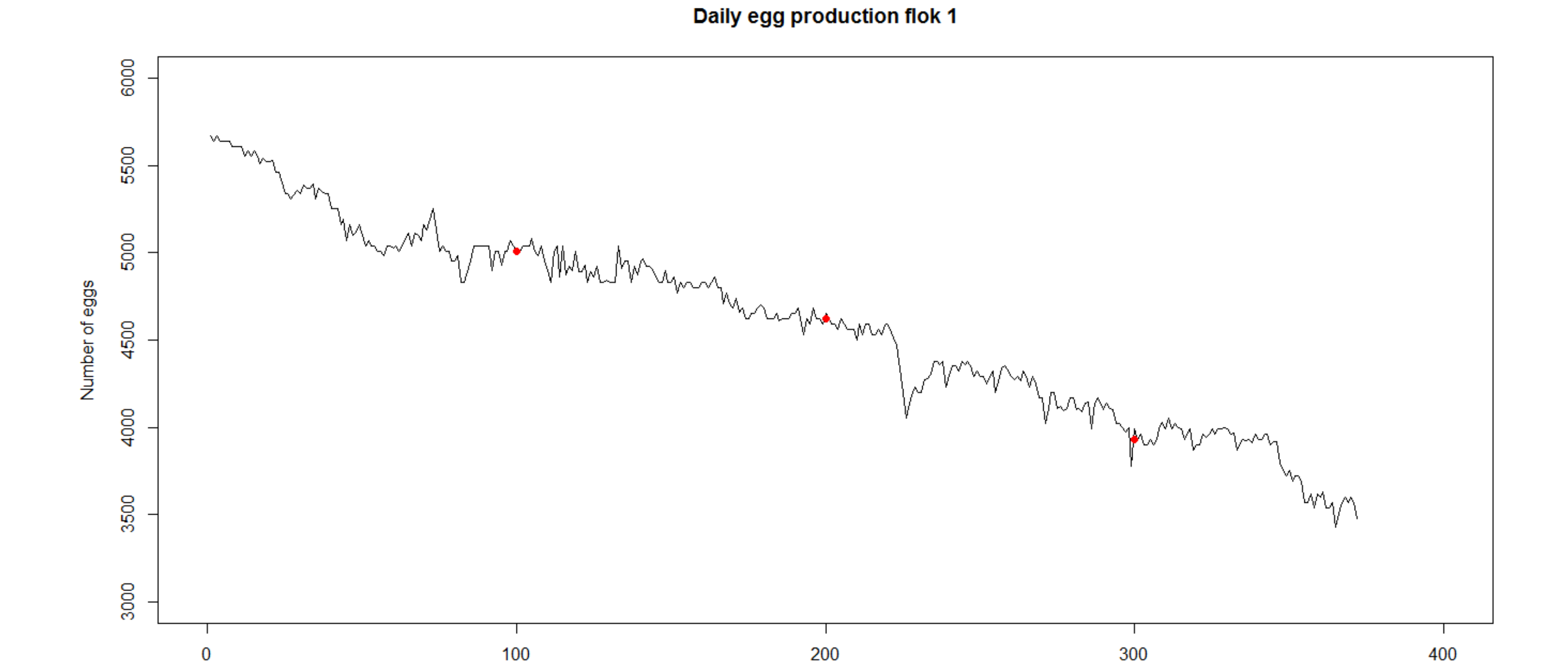


Figure 2. Observed data of daily egg production (flock 1) used for forecasting with neural models MLP, RNNJ and RNNE. Red dots refer to the starting points for predictions (T = 100, 200 and 300).

Table 2. Calculated values of MAD and MSE for neural network models used to predict the daily egg production.

T	h	s	L	MAD			MSE		
				RNNE	RNNJ	MLP	RNNE	RNNJ	MLP
100	7	5	1	96.13	38.49	61.73	13110.82	2275.67	4865.00
			2	54.02	27.79	58.60	3906.66	1188.22	4447.79
			3	58.10	55.60	59.39	4362.60	4122.99	4549.04
			4	26.93	140.63	41.09	1113.74	21707.57	2576.50
Mean				58.80	65.63	55.22	5623.46	7323.61	4109.58
SD				28.48	51.30	9.51	5194.08	9665.52	1037.39
200	7	5	1	17.62	27.34	40.89	430.69	982.31	2096.88
			2	28.69	44.02	45.16	1167.46	2360.45	2497.08
			3	16.44	129.14	36.67	372.32	20605.19	1754.58
			4	77.48	115.14	45.02	6943.02	15774.12	2486.48
Mean				35.06	78.91	41.94	2228.37	9930.52	2208.76
SD				28.82	50.70	4.03	3163.86	9754.87	355.46
300	7	5	1	85.81	54.69	50.79	9084.98	3251.03	3188.57
			2	100.91	68.16	63.18	11020.73	6072.21	4731.10
			3	110.58	92.27	69.54	13353.31	9637.69	5804.86
			4	73.54	27.75	66.77	5949.64	1115.80	5245.15
Mean				92.71	60.72	62.57	9852.16	5019.18	4742.42
SD				16.34	26.92	8.27	3132.72	3687.92	1124.88

T: day of production to where the network is trained, **h**: estimated number of days, **t-i**: input neurons included, **L**: number of model runs, **MSE**: Mean Square Error, **MAD:** Mean Absolute Deviation, **RNNE**: recurrent neural network of Elman, **RNNJ**: recurrent neural network of Jordan and **MLP**: Multilayer Perceptron, **Mean** average and **SD** standard deviation values obtained for the four runs (L).

.

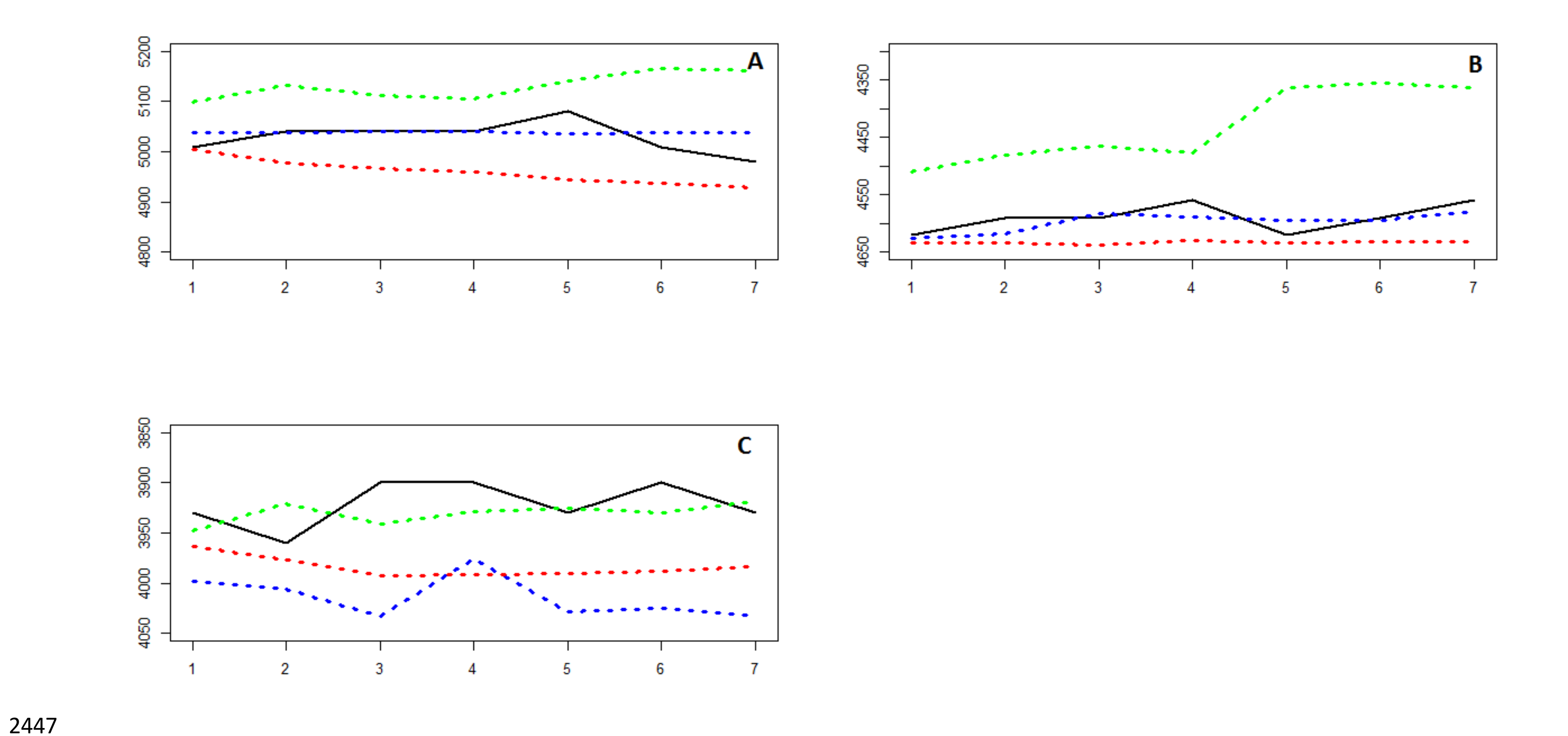


Figure 3. Results of forecasting values with neural models.

A) **T**= 100. B) **T**= 200. C) **T**= 300. Axis x= Forecasting days (1 to 7). Axis y= Number of eggs. MLP ( ), RNNJ ( ) and RNNE ( ), and observed data of daily egg production (flock 1) ( ).

References

1. Adams C J, and Bell DD. Predicting poultry egg production. Poult Sci 1980; 59:937–938.
2. Ahmad HA, Dozier GV and Roland Sr DA. Egg price forecasting using neural networks. J Appl Poult Res 2001; 10 (2): 162-171
3. Ahmad HA. Egg production forecasting: Determining efficient modeling approaches. J Appl Poult Res 2011; 20 (4): 463-473.
4. Ahmadi H, Golian A. Neural network model for egg production curve. J Anim Vet Adv 2008; 7(9):1168-1170.
5. Bell DD, Adams CJ. First and second cycle egg production characteristics in commercial table egg flocks. Poult Sci 1992; 71:448–459.
6. Cason JA, and Britton WM. Education and production comparison of compartmental and adams-bell models of poultry egg production. Poult Sci 1988; 67:213-218.
7. Elman JL. Finding structure in time. Cognitive Science 1990; 14: 179-211.
8. Galeano LF, Cerón-Muñoz MF, Rodríguez D, Cotes JM. Uso del modelo de distribución con retardo para predecir la producción de huevos en gallinas ponedoras. Rev Col Cienc Pec (In press) 2013a; 26 (4).
9. Galeano LF, Cerón-Muñoz MF. Modelación del crecimiento de pollitas mediante el uso de redes neuronales. Rev. MVZ Córdoba. 2013; (In press) 18 (3).
10. Galvan I, Zldívar J. Application of recurrent neural networks in batch reactors Part 1. NARMA modeling of the dynamic behavior of the heat transfer fluid temperature. Chemical engineering and processing 1997; 36: 506-518
11. Gavora JS, Liljedahl LE, McMillan I, Ahlen K. Comparison of three mathematical models of egg production. Brit Poult Sci 1982; 23:339-348.
12. Gavora, JS, Liljedah LEl, McMillan I, and Ahlen K. Comparison of three mathematical models of egg production. Br Poult Sci 1982; 23:339–348.

13. Groen AF, Jiang X, Emmerson DA, Vereijken A. A deterministic model for the economic evaluation of broiler production systems. Poult Sci 1998; 77:925–933

14. Jordan MI. Attractor dynamics and parallelism in a connectionist sequential machine. Proceedings of the Eight Annual Conference of the Cognitive Science Society, 1986; 531-546, Erlbaum.

15. Lokhorst C. Mathematical curves for the description of input and output variables of the daily production process in aviary housing systems for laying hens. Poult Sci 1996; 75:838–848.

16. McNally, D H. Mathematical model for poultry egg production. Biometrics 1971; 27:735–738.

17. Miyoshi S, Luc KM, Kuchida K, and Mitsumoto T. Application of non-linear models to egg production curves in chickens. Jpn Poult Sci 1996; 33 (3):178-184.

18. Narushin VG, and Takma C. Sigmoid model for the evaluation of growth and production curves in laying hens. Biosystems Engineering 2003; 84 (3): 343–348.

19. Pérez JA. Modelos predictivos basados en redes neuronales recurrentes de tiempo discreto. Universidad de Alicante. Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos. Tesis doctoral. 2002. URL:rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3826/1/P%c3%a9rez%20Ortiz%2c%20Juan%20Antonio.pdf

20. R Development Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. Accessed Nov 2013. http://www.rproject.org/.

21. Rahimi I; Behmanesh R. Improve poultry farm efficiency in Iran: using combination neural networks, decision trees, and data envelopment analysis (DEA). International Journal of Applied, 2012; 2 (3):69-84.

22. Savegnago R, Nunes BN, Caetano SL, Ferraudo AS, Schmidt GS, Ledur MC, and Munari DP. Comparison of logistic and neural network models to fit to the egg production curve of White Leghorn hens. Poult Sci 2011; 90:705-711.

23. Shiv P, and Singh DP. Comparison of egg production models generated from growth functions. Ind. Journal of Animal Sciences 2008, 78(6): 649-651

24. Wolc, A, Arango J, Settar P, O'Sullivan NP, and Dekkers JC. Evaluation of egg production in layers using random regression models. Poult Sci 2011; 90(1), 30-34.

25. Yang N, Wu C, and McMillan I. New mathematical model of poultry egg production. Poult Sci 1989; 68:476–481.

Capítulo 5. Sistema de Gestión de Información para Granjas Avícolas

Este artículo obedece al desarrollo del objetivo específico

- Diseñar y evaluar el sistema de información de apoyo a la toma de decisiones (SATD) para sistemas de producción avícola de huevo comercial.

Design of an information management system for poultry farms using Excel and R-project

Diseño de un sistema de gestión de información para granjas avícolas con el uso de Excel y R Project

Projeto de um sistema de gerenciamento de informações para aves utilizando Excel e R-project

Luis F. Galeano-Vasco, Diana M. Gutiérrez, Mario Cerón-Muñoz
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Autor para correspondencia: Luis Fernando Galeano, grupo de investigación GaMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Carrera 75 # 65-87 Medellín, Colombia. Tel: 0057 4 2199140, Fax: 0057 4 2199100, Email: lf.galeano.vasco@gmail.com

Summary

With the purpose of promoting the inclusion of Technologies of Information and Communication Technologies (ICTs) in poultry, was developed a information management application called "Information Management System for Poultry Farms", which aims to facilitate and optimize processes of taking, processing, analyzing and storing information from the poultry production system. The platform capture and delivery of information was designed in Microsoft Excel, while for the analysis and processing of the data the statistical software R Project was used. Both programs interact with each other through free software RExcel®. The user enters in this application daily batch information, receiving numerical and graphs reports to compare them with those proposed by the genetic home and define the state of the productive performance indicators of their animals on real-time. The program and its user manual is available free of charge for your use upon request.

Resumen

Con el propósito de promover la inclusión de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la avicultura, se ha desarrollado una aplicación de gestión

de información denominado "Sistema de Gestión de Información para Granjas Avícolas", cuyo objetivo es facilitar y optimizar los procesos de captura, procesamiento, análisis y almacenar la información del sistema de producción de aves de corral. La plataforma de captura y entrega de información fue diseñada en Microsoft Excel®, mientras que para el análisis y procesamiento de los datos se usó el software estadístico R Project. Ambos programas interactúan entre sí por medio del software libre RExcel®. El usuario con en esta aplicación ingresa la información diaria del lote de aves y obtiene informes numéricos y gráficos para compararlos con los indicadores propuestos por la casa genética y definir el estado del desempeño productivo de sus animales en tiempo real. El programa y su manual de usuario se encuentran disponibles de forma gratuita para su uso a quienes lo soliciten.

Introducción

La inclusión de las Tecnologías de la Comunicación y de la Información (TICs) en el sector agropecuario ha servido para el diseño y puesta en marcha de herramientas para el asesoramiento y construcción de sistemas de producción más rentable basados en sistemas de información y sensores, que ayudan a caracterizar el sistema productivo e implementar acciones tendientes a aumentar la productividad, optimizar el uso de recursos y mejorar la calidad de vida de los productores agropecuarios como consecuencia del incremento de sus márgenes de utilidad (Raju y Rao, 2006; Mertens, 2009; Rose et al., 2003).

Algunas experiencias sobre el uso de las TICs son los sistemas de soporte para la toma de decisiones (SATD), que son aplicaciones informáticas construidas con modelos analíticos y sistemas de entrega de informes, los cuales a partir de la información incorporada y el análisis del sistema, entregan al usuario herramientas para el desarrollo de diagnósticos del estado actual de los procesos y así facilitar la definición de posibles soluciones a los problemas detectados. Además, permiten almacenar la información, lo cual es importante para ver la evolución del sistema en el tiempo y hacer proyecciones futuristas de su desempeño productivo (Abelson y

Levi, 1985; Schmisseur et al., 1989; Newman et al., 2000; Arsham, 2009; Nyathi et al., 2013).

La tendencia mundial del sector agropecuario a es la inclusión y adaptación de nuevas tecnologías para aumentar la eficiencia de los procesos productivos, mejorar la gestión de la información y agilizar el proceso de toma de decisiones (Mollo et al., 2009). Por tal motivo este trabajo pretende crear un sistema de gestión de la información en un sistema de producción de huevo comercial con la inclusión de modelos de predicción con redes neuronales.

Materiales y Métodos

Se seleccionaron 5 granjas productoras de huevo de Antioquia, como fuentes de información primaria de registros históricos de producción y entrevistas directas aplicadas a empleados y personal administrativo.

Con la información colectada se estructuraron las bases de datos divididas en las etapas de cría, levante y producción. Para la etapa de cría y levante (primeras 18 semanas de vida) se recopiló información de aspectos como línea genética de las aves, número de pollitas alojadas, peso de las pollitas, porcentaje de uniformidad, número de aves muertas, causa de la muerte, porcentaje de mortalidad, longitud del tarso, consumo de alimento (gr ave-1 día-1), composición nutricional del alimento y consumo de nutrientes.

Para la etapa de producción (18 a 80 semanas de vida del ave) se reunió información del número de huevos producidos por día, porcentaje de producción de huevos, número de aves muertas, causa de la muerte, porcentaje de mortalidad, consumo de alimento (gr ave-1 día-1), composición nutricional del alimento y consumo de nutrientes, número de huevos por ave alojada, clasificación de los huevos por peso, número de huevos rotos, número de huevos sucios y número de huevos en fárfara.

Además de la información de los registros, en las etapas de cría, levante y producción se tomaron mediciones ambientales como temperatura (internas y externas al galpón), altura sobre el nivel del mar, humedad relativa, luminosidad (luxometría) y actividades de manejo como horarios de alimentación, tipo de alimento y suplementación cálcica o mineral, tipo de explotación (piso o jaula), densidad de las aves, grado de tecnificación de la granja (Maquinaria y equipos), plan sanitario, y manejo de residuos entre otros.

Diseño de Sistema de gestión de la información

La información almacenada en las bases de datos se utilizó para documentar, describir y caracterizar de forma detallada de todas las actividades y procesos propios del sistema de producción en las fases de cría, levante y producción. Luego se elaboró un mapa conceptual de los procesos a través del diseño de diagramas operacionales que permitió analizar de forma secuencial los componentes de cada proceso, permitiendo identificar de puntos críticos y problemas, y las interrelaciones que existen entre cada uno de los componentes del sistema.

Modelo de gestión de base del sistema.

Este componente incluyó las formulas, cálculos, filtros y condicionales de las variables de entrada al sistema para la obtención de los parámetros de evaluación del rendimiento productivo del lote, tales como:

- Consumo de alimento etapa de cría y levante: alimento consumido g/ave/día, alimento consumido g/ave/día acumulado y total de alimento consumido por semana kg.
- Inventario de Aves: porcentaje de mortalidad, número de aves descartadas, numero de aves muertas y saldo de aves por semana
- Peso Corporal de las Aves: peso promedio del lote, porcentaje de uniformidad del lote y coeficiente de variación del peso de las aves.

Con base en resultados de los capítulos previos se incluyeron modelos para el ajuste y graficación de las curvas de crecimiento y producción. Permitiendo generar

predicciones en el nivel productivo del lote en un período de siete días a futuro. En este módulo también se generan los informes numéricos y gráficos para los informes: para todo lo anterior fue necesario la inclusión de programación de scripts y funciones en lenguaje Visual Basic, R y RExcel.

Sistema de generación de informes y selección de alternativas.

Este componente consistente en la entrega al usuario información sobre el estado actual de los animales, expresado en sus variables de interés productivo y

Para la creación, organización, y depuración de las bases de datos, los análisis estadísticos, y la elaboración y validación de los modelos se utilizará los aplicaciones informáticas Visual Basic ® (Balena y Foreword, 1999), RExcel (Heiberger y Neuwirth, 2009) y R ®.

Resultados y Discusión

Descripción

El principal objetivo de este estudio fue desarrollar una aplicación informática administrativa que tiene como nombre **Sistema de Gestión de Información para Granjas Avícolas**, fue construida con modelos matemáticos y bajo un ambiente gráfico amable y conocido como Excel. Este sistema se construyó con el objetivo de facilitar y optimizar los procesos de toma, procesamiento, análisis y almacenamiento de información proveniente del sistema de producción avícola y además; permitiendo la identificación de puntos críticos y toma de decisiones en tiempo real.

Para su diseño, modificación, uso y difusión del sistema informático se utilizó Microsoft Excel ® como la plataforma de captura de información. Para el análisis y procesamiento de los datos se recurrió a la potencia del *software* estadístico R Project. Ambos programas interactúan entre si gracias a RExcel®. La unión de los tres programas permitió para la construcción de una herramienta informática de

apoyo al avicultor con características de facilidad de uso, gran interactividad, potencia en el análisis de datos y validez estadística de los resultados obtenidos.

A la fecha esta aplicación consta de una interfaz del usuario, e incluye cinco formularios diseñados para el ingreso de información concerniente a la producción sobre aspectos tales como: alimentación, medio ambiente, sanidad, manejo y administración. Además, tiene hojas de registro de la información productiva de las fases de cría, levante y producción, además de los registros del pesaje de aves. Ofrece al usuario la posibilidad obtener resultados numéricos y gráficos facilitando el análisis del estado productivo del lote al contrastarlo con los indicadores productivos propuestos por la línea genética.

El mayor avance y aporte de esta aplicación es la inclusión de modelos de predicción como las redes neuronales artificiales, que permiten en tiempo real, proyectar la repuesta productiva del lote en las condiciones actuales y así en un horizonte de siete días, determinar las posibles actividades correctivas que permitan mejorar o sostener el nivel productivo dependiente del estado de la respuesta de las aves.

Fases del proceso de elaboración SATD.

- *Diagramación del sistema*

A partir de una extensa revisión bibliográfica, la toma de información primaria de los productores, registros históricos de producción de las granjas y el uso de la teoría de diagramas de flujo basados en el lenguaje unificado de modelación (UML) (Booch et al., 1998), se construyeron los diagramas de flujo que describen al detalle todas las actividades propias del sistema de producción avícola en las fases de cría, levante y producción, y permiten apreciar los distintos tipos de relaciones entre los componentes del sistema, para determinar el flujo de las actividades (Figura 1). Además, estos diagramas sirvieron como base para la construcción del sistema de caracterización y documentación de los procesos, lo cual permite la identificación de puntos críticos, permite la construcción de manuales de funciones para los

operarios y facilita el cumplimiento de las exigencias en planes de bioseguridad al documentar al detalle las actividades propias de cada proceso dentro del sistema.

Las fases de cría, levante y producción, fueron caracterizadas a partir de cinco ítems de mayor relevancia, así: alimentación, medio ambiente, sanidad, manejo y administración; y dos causales de pérdida como lo son el descarte de aves y la mortalidad. Este grafo permite ver como cada ítem afecta el flujo de aves dese su llegada hasta que pasan a la siguiente fase o etapa de producción. Cada uno de estos ítems se construyeron a partir de las descripciones de los procesos en cada fase de vida del ave. Un ejemplo de este desglose de actividades se presenta en la figura 2, donde se puede ver la descripción dentro del ítem Alimentación del componente fábrica de alimentos concentrados, allí se describen todas las actividades propias de la elaboración de un alimento balanceado y como debe ser el flujo de información para garantizar un funcionamiento óptimo de la planta. En la figura 3 aparecen los componentes del ítem medio ambiente, caracterizando los factores externos e internos medioambientales que pueden tener efecto en el confort y respuesta productiva de las aves.

- *Montaje de formularios en Visual Basic*

Con base en los Diagramas desarrollados en UML, se procedió a la creación de los formularios en Excel para la toma y almacenaje de la información. Un ejemplo de esto es la figura 4 donde aparece el formato de toma de información para medio ambiente de las características externas propia del sistema de producción.

La fabricación de estos formularios requirió de tres fases: la primera es el diseño del formulario (UserForm) a partir del diagrama UML, la segunda la asignación de macros para validar el tipo de información que debe entrar en cada uno de los componentes del formulario, y la tercera es la definición del área de almacenamiento de la información consignada en cada uno de los campos y la construcción de botones para el almacenaje y limpieza de las casillas para la toma de información.

- *Incorporación de modelos y programación en R*

Luego de la elaboración del sistema de captura y almacenaje de información, se diseñaron los registros de información productiva para las fases de cría, levante y de producción, además del registro de pesajes. Cada uno de estos registros ofrece a su vez información de forma numérica y lleva al usuario a hojas de informe para obtener análisis y proyecciones de la producción en formatos gráficos. Los modelos incorporados incluyen:

- Modelos de regresión no lineales para la modelación del crecimiento en gallinas productoras de huevo comercial, con base en las experiencias obtenidas en el desarrollo de los artículos: “Modelación del crecimiento de pollitas Lohmann LSL con redes neuronales y modelos de regresión no lineal” (Galeano-Vasco y Cerón-Muñoz, 2013) y “Capacidade de modelos mistos não lineares para prever o crescimento em galinhas poedeiras” (Capitulo 1).
- Redes Neuronales artificiales para la modelación y proyección de la curva de producción de huevos, el cual fue resultado del desarrollo del artículo: Curve modeling and forecasting of daily egg production with the use of recurrent neural networks (Capitulo 4)

Para los cálculos y ecuaciones propias de los registros productivos, y los gráficos del sistema se programaron en R y RExcel, un ejemplo de esto son los scripts para la construcción del histograma y gráfico de pesos que hacen parte de la hoja de informe de pesaje de las aves en la fase de cría y levante, así:

- Programación del histograma

Generación de la base de datos para evaluación de los pesajes

```
pesos2=as.numeric(pesos);peso=na.exclude(pesos2)
```

Propiedades del área para la generación del histograma

```
dev.new(width=4, height=3)
```

Elaboración de histograma para ver la distribución de los pesajes

```
hist(peso, breaks="Sturges",col="lightblue", border = "black",
main="Histograma - Peso de aves", xlab="Peso (g.)",
```

```
ylab="Densidad",prob=TRUE,ylim=c(0,max(density(peso)$y)+min(density(p
eso)$y)));lines(density(peso));lines(density(peso, adjust=2),lwd=3,
lty="dotted", col="red")
```

Definición del área de proyección del histograma

```
#!insertcurrentrplot  'Pesaje CL'!$C$417
```

- Programación del gráfico de pesaje de las aves

Generación de la base de datos para hacer el gráfico a partir de datos en Excel ®

```
#!rputdataframe      pesajes        'Pesaje CL'!$B$438:$D$578
```

Propiedades del área para la generación del gráfico

```
dev.new(width=4, height=3)
```

Gráfico de pesajes donde se comparan los valores teóricos con los valores obtenidos para las aves evaluadas en el pesaje.

```
plot(pesajes$edad,pesajes$tabla, main="Curva de crecimeinto", xlab="Edad
(días)", ylab="Peso (gr)", type="l",lwd=2, col="blue");
lines(pesajes$edad,pesajes$real, col="red",lwd=2);
legend("topleft",c("Tabla","Real"),lty=c(1,1),lwd=c(2,2),col=c("blue","red"),cex
=0.7)
```

Definición del área de proyección del gráfico de pesaje de las aves

```
#!insertcurrentrplot  'Pesaje CL'!$G$417
```

Finalización del procedimiento de elaboración y proyección de los gráficos

```
graphics.off()
```

- *Elaboración del manual de usuario*

Con el fin de orientar al usuario en la utilización y la solución de los problemas que puedan suceder en el uso de ña aplicación se elaboró el *Manual de usuario*. Este documento contiene las instrucciones paso a paso para la instalación de los complementos y aplicaciones necesarias para el funcionamiento del programa. Además explica al usuario la estructura y funcionamiento de cada uno de los componentes del *software* facilitando el acercamiento y uso de la aplicación (Anexo 6). El manual de usuario se compone de siete capítulos, así:

1. Introducción.
2. Objetivos del Manual.
3. Convenciones y Estándares a utilizar.
4. Especificaciones técnicas.
5. Instalación del *Software*.
6. Ingreso y estructura del sistema.
7. Guía de uso.

Validación de la aplicación

Para la validación del funcionamiento de las ecuaciones incorporadas al software, se compararon los resultados obtenidos en la aplicación con los valores presentes en registros productivos de lotes de aves procedentes de las granjas evaluadas. El objetivo fue comparar los parámetros productivos calculados en los registros y otras aplicaciones con los que entregaba el software, verificando el buen funcionamiento de la aplicación. En el caso de encontrarse errores, se usaba una tercera hoja de Excel donde se reescribían las formulas hasta igualar los resultados de los registros o si era el caso, definir como errados los cálculos presentados en los registros escritos que fueron la fuente de información para el desarrollo de la aplicación. En general los errores encontrados coincidieron con errores en las operaciones presentes en los registros escritos.

Alcance y supuestos de la herramienta

La hoja electrónica está en capacidad de recibir y almacenar información de aspectos como: alimentación, medio ambiente, sanidad, manejo, administración, registros productivos de cría y levante, registros productivos de producción y pesaje de aves. Esta información es el sustrato sobre el cual los modelos hacen los procesos de aprendizaje, ajuste y finalmente de predicción. Por lo anterior todas las hojas cuentan con filtros de validación de información permitiendo que los datos consignados sean contrastados con valores teóricos y generando advertencias al usuario en el proceso de entrada de la información si los datos están por fuera de

los límites estipulados, permitiendo garantizar la calidad requerida de los datos para la modelación.

Con respecto a las predicciones hechas por la aplicación, es necesario hacer la salvedad que los valores predichos demuestran la relación existente entre los valores de entrada edad y producción diaria de huevos en t-5 periodos con la producción del día t, y a su vez la proyección día a día hasta llegar al horizonte de 7 días. Por lo anterior cambios en variables diferentes a las de entrada pueden hacer que la predicción del modelo puedan tener variaciones. Por lo tanto es necesario que la red sea entrenada con suficiente información previa al día de proyección para obtener resultados de confiabilidad. A futuro es necesario la inclusión de variables ambientales, nutricionales y de manejo en el modelo, de modo que las predicciones cada vez sean más cercanas a las condiciones reales del sistema de producción de donde proviene la información.

Futuro de la aplicación

En el proceso de desarrollo de la investigación las problemas en la toma de información llevó a incursionar en el diseño y validación de sistemas integrados y redes de sensores inalámbricos para el monitoreo ambiental y productivo en los sistema de producción avícola de huevo comercial. Este avance ofrecerá al avicultor un paquete completo que incluiría el hardware para la toma de información y el *software* que procesa, analiza los datos y además, entrega informes en tiempo real para la toma de decisiones. Idea que fue plasmada en el artículo de divulgación del proyecto CODI titulado "*Desarrollo de aplicaciones tecnológicas integrales para el manejo de las producciones avícolas del país: sistemas de apoyo a toma de decisiones (SATD)"* (Anexo 7).

La siguiente fase propuesta será el desarrollo de investigaciones que permitan construir y evaluar modelos de predicción del comportamiento productivo con la inclusión de variables tales como: ambientales, de manejo y sanitarias, entre otras.

Además, la inclusión de un módulo de costos permitiendo la valoración económica de alternativas que los modelos de simulación ofrezcan al productor.

Posteriormente, se propone convertir el *software* en una aplicación móvil con conectividad a los sistemas de captura de información y a sistemas móviles para la generación de mensajes de alarma, de modo que su uso online agilice la circulación de información entre el sistema de producción, el responsable directo del manejo de las aves (galponero) y el administrador o encargado de la toma de decisiones gerenciales de la empresa avícola.

Conclusión

Se desarrolló, probó y validó la aplicación informática administrativa Sistema de Gestión de Información para Granjas Avícolas, la cual será entregada a los productores de forma gratuita acompañada del manual de usuario, con el objetivo de apoyarlos en los procesos de toma, procesamiento, análisis y almacenamiento de información proveniente del sistema de producción avícola.

Referencias

1. Balena F, Foreword By-Fawcette J. Programming Microsoft Visual Basic 6.0. Microsoft Press. 1999.
2. Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. Unified Modeling Language (UML). Rational Software Corporation, Santa Clara, CA, versión 1. 1998
3. Galeano-Vasco LF, Cerón-Muñoz MF. Modelación del crecimiento de pollitas Lohmann LSL con redes neuronales y modelos de regresión no lineal. Revista MVZ Córdoba, 2013; 18(3): 3861-3867.
4. Heiberger RM, Neuwirth E. R through Excel: A spreadsheet interface for statistics, data analysis, and graphics. New York: Springer. 2009.
5. Mertens K. An intelligent system for optimizing the production and quality of consumption eggs based on synergistic control. 2009. URL: https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/238432/1/Doctoraat_v.DEF_260809.pdf

6. Mollo MN, Vendrametto O, Okano MT. Precision livestock tools to improve products and processes in broiler production: a review. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 2009; 11(4): 211-218.
7. Nyathi T, Dube S, Sibanda K, Mutunhu B. Poultry contractual farming decision support system. In IST-Africa Conference and Exhibition (IST-Africa). 2013 pp. 1-8. IEEE.
8. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2013.
9. Raju DT, Rao BS. An information technology enabled Poultry Expert System: Perceptions of veterinarians and veterinary students. International Journal of Education and Development using ICT. 2006; 2(2).
10. Rose N, Mariani JP, Drouin P, Toux JY, Rose V, Colin P. A decision-support system for Salmonella in broiler-chicken flocks. Preventive veterinary medicine, 2003; 59(1): 27-42.
11. Schmisseur E, Pankratz J, Gehman M. XLAYER: An expert system for layer management. Poult Sci, 1989; 68(8):1047-1054.

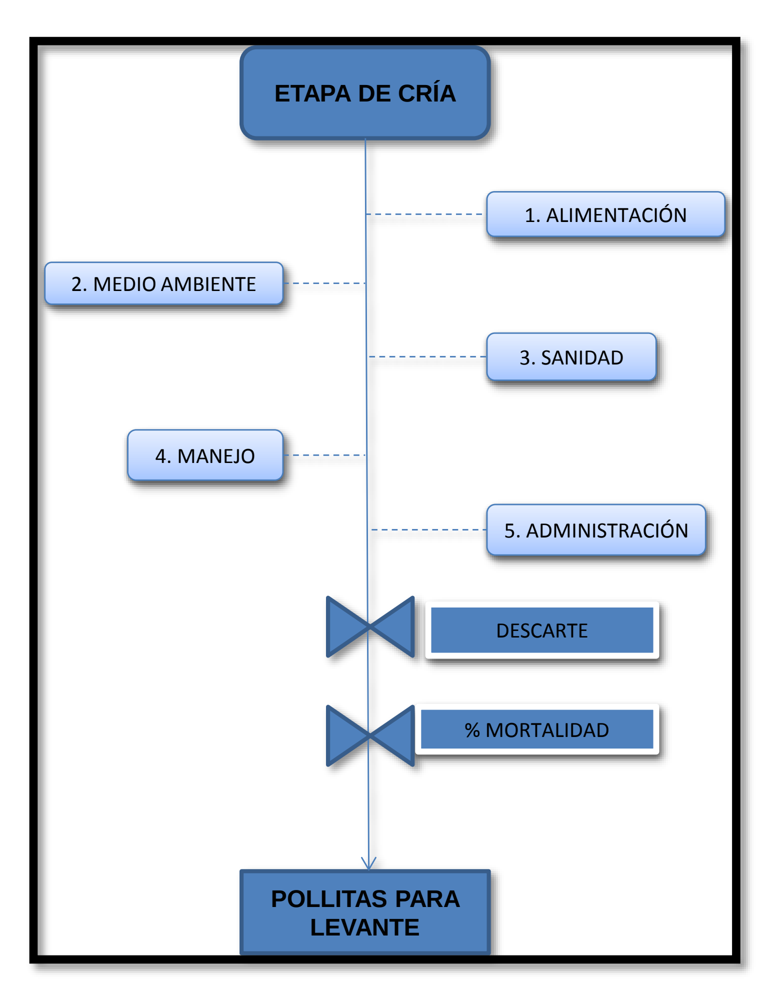


Figura 1. Diagrama de flujo para la fase de cría y levante

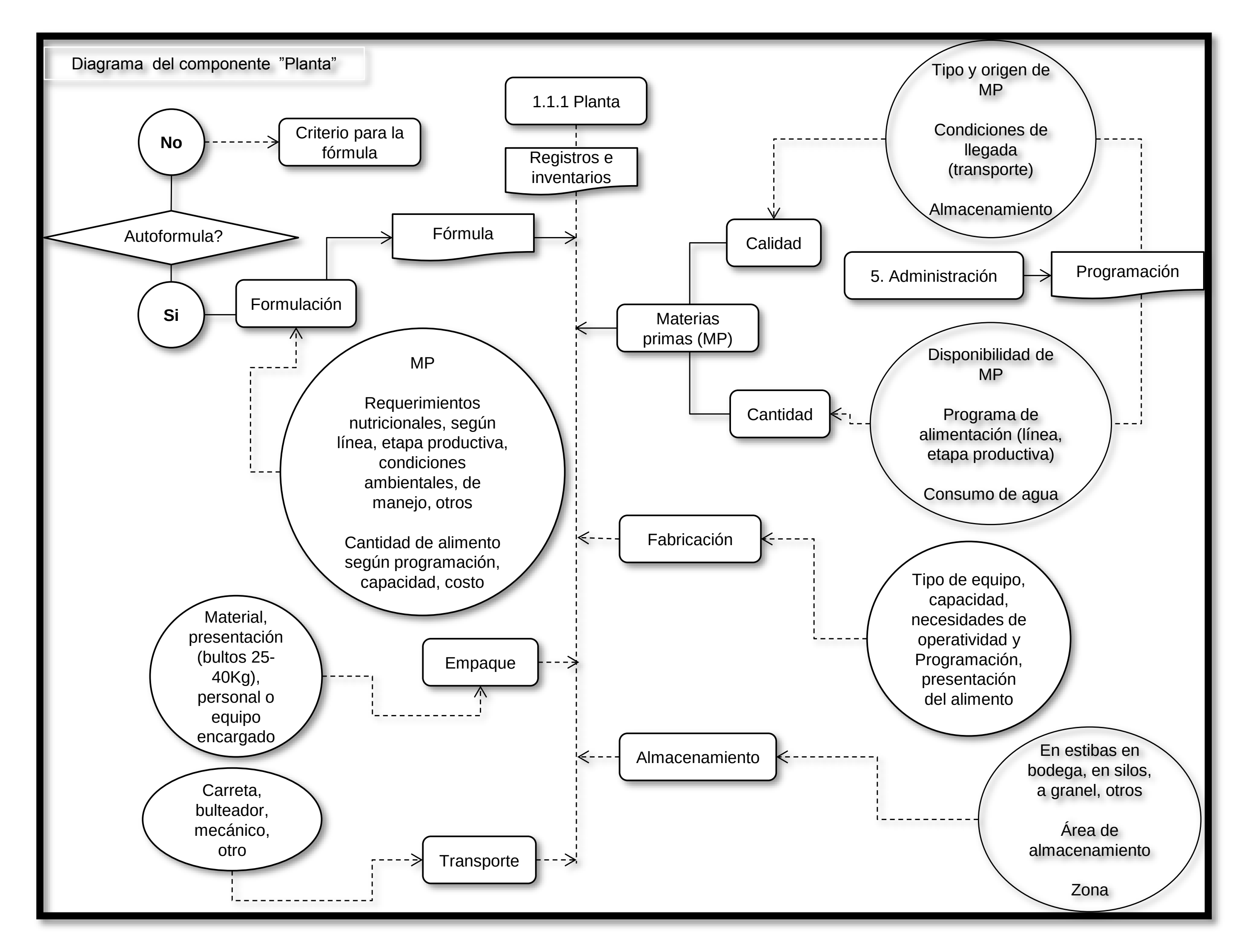


Figura 2. Diagrama de flujo del sistema alimentación para el componente fábrica de alimentos concentrados

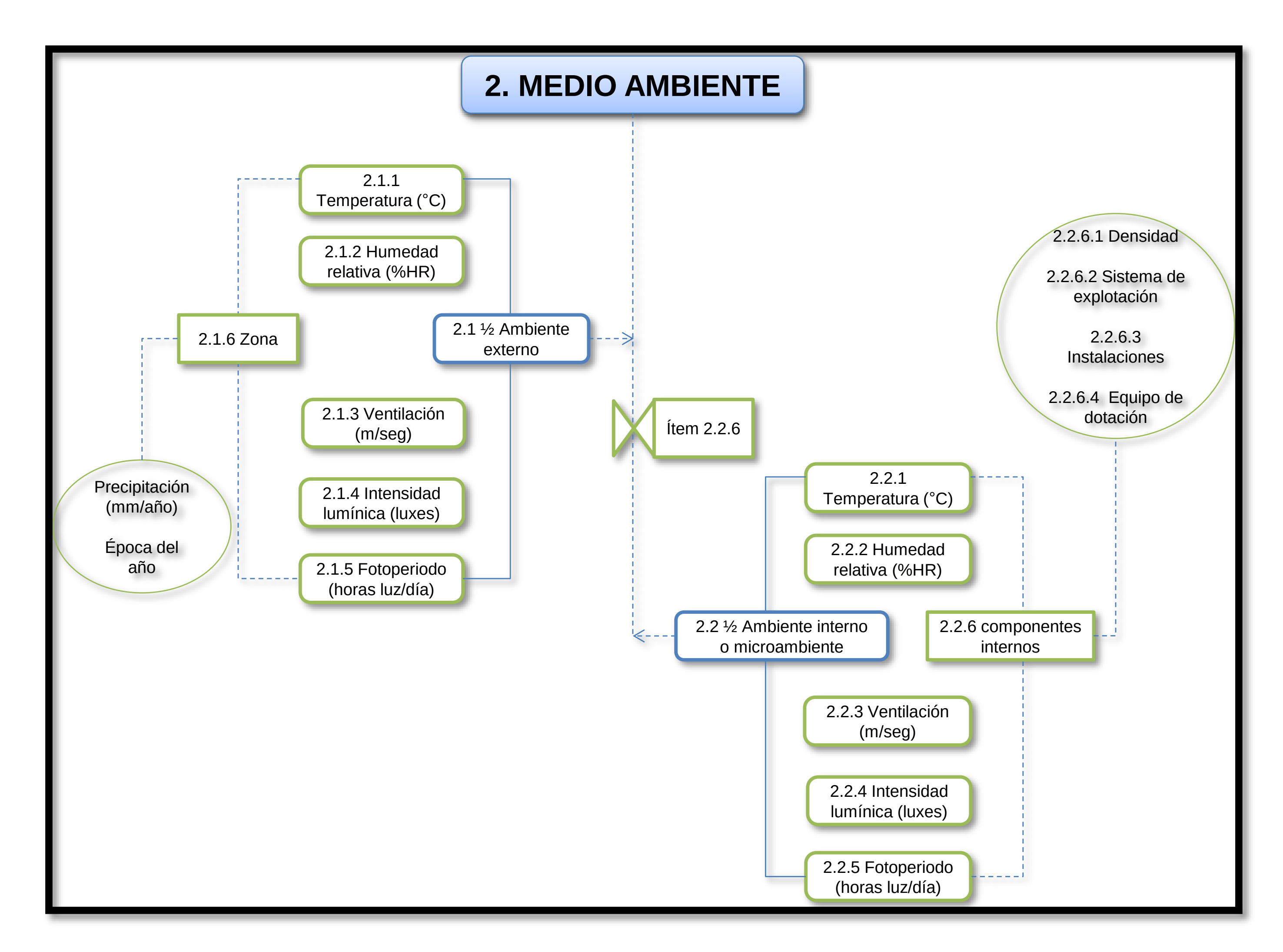


Figura 3. Diagrama de flujo del ítem Medio ambiente

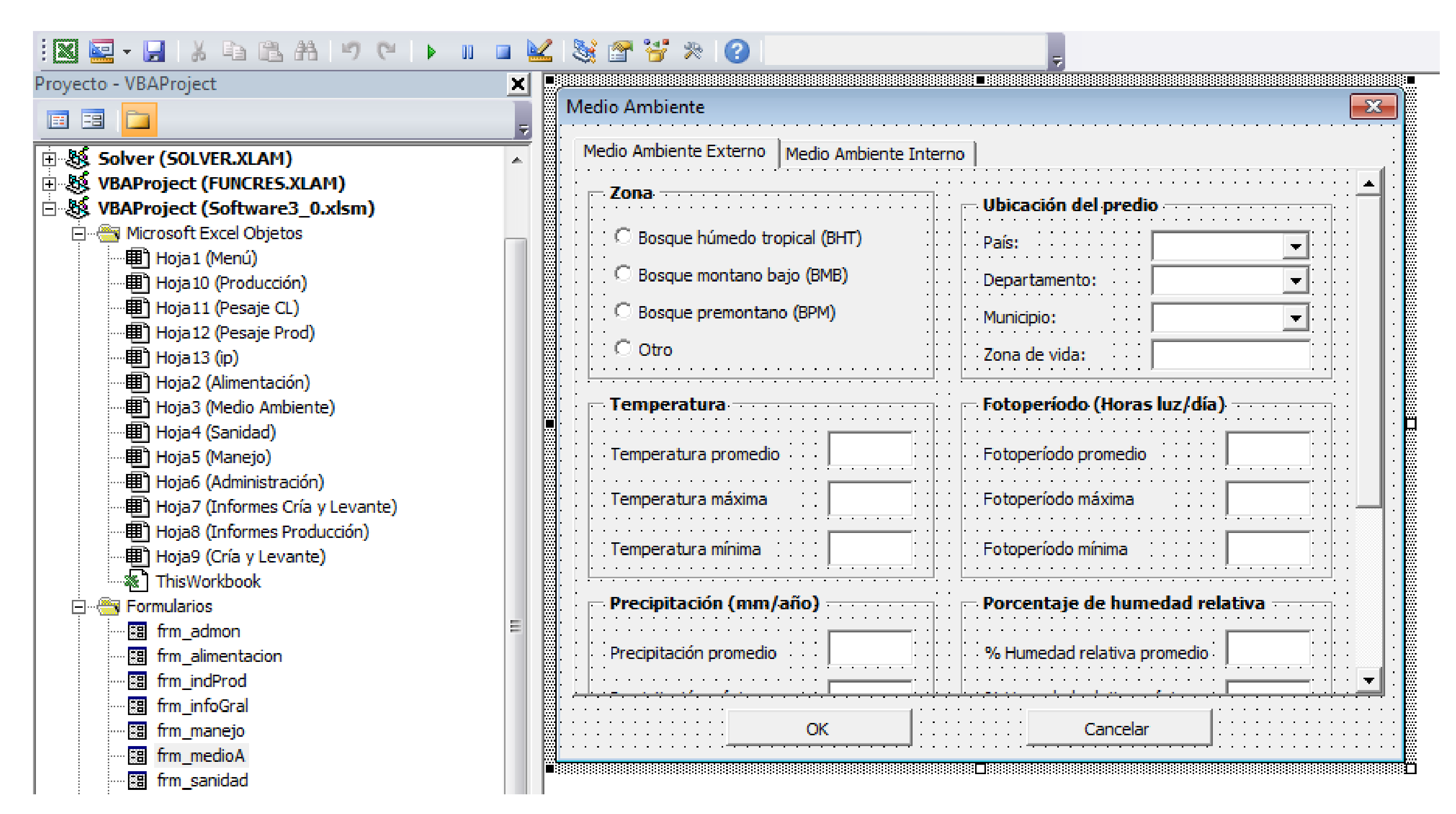


Figura 4. Creación del formulario para captura de información del ítem Medio ambiente.

Conclusiones Generales

1. Con el uso de la teoría de grafos se crearon los diagramas que permitieron caracterizar el sistema de producción de huevo comercial en las fases de cría y levante, y de producción.

2. Se logró establecer que los modelos mixtos de Gompertz y Richards, y las RNA son funcionales para modelar la curva crecimiento y el desarrollo del ave de postura.

3. Para la modelación de la curva de producción de huevos se evaluaron y validaron los modelos Adams-Bell, Delay, Lokhorst, redes neuronales (MLP) y redes neuronales recurrentes (RNNE y RNNJ), entre otros. Definiendo como modelo el desarrollo del SATD a las redes neuronales.

4. Se diseñó el SATD con formularios para el ingreso y almacenamiento de información sobre alimentación, medio ambiente, sanidad, manejo y administración del sistema de producción. Hojas de registro de la información productiva de las fases cría y levante, de Producción y del pesaje de aves. Además, de las hojas que ofrecen al productor informes gráficos.

5. El *software* ofrece al usuario la posibilidad obtener resultados numéricos y gráficos facilitando el análisis del estado productivo del lote. La inclusión de modelos de predicción como las redes neuronales artificiales permiten en tiempo real, proyectar la repuesta productiva del lote en las condiciones actuales y así en un horizonte de siete días, determinar las posibles actividades correctivas que permitan mejorar o sostener el nivel productivo dependiente del estado de la respuesta de las aves.

Consideración Final

En Colombia la avicultura (huevo con cáscara y aves de corral) presentó un crecimiento del 11.1% para el 2013. Con un incremento en el consumo de huevo de 228 a 236 unidades por persona y de 23,9 a 29 kg de pollo, este aumento registrado entre 2012 y 2013, según la Federación Nacional de Avicultores, Fenavi. Manteniéndose el sector avícola en un crecimiento constante, aportando el 3.9% del PIB nacional y ofreciendo oportunidades laborales a más de medio millón de personas.

Aspectos como los altos costos de producción, canales de mercadeo plagados de intermediarios y la volatilidad del precio de venta del huevo, hacen que las empresas avícolas obtengan un margen mínimo de rentabilidad, grandes pérdidas en las temporadas de alta oferta y baja demanda (Bohórquez, 2014). En este panorama, es importante el desarrollo y generación de herramientas que le permitan al avicultor evaluar, en tiempo real, el estado productivo y rentabilidad de su empresa, de modo que pueda tener indicadores que le faciliten el proceso de toma de decisiones tendientes a hacer más eficientes los procesos, con el objetivo de disminuir costos de manera sostenida.

En la generación de alternativas de mejora tecnológica a los sistemas de producción avícola, el principal objetivo de este trabajo fue la creación y validación de un prototipo para la toma y análisis de información de granjas avícolas. Finalmente se logró desarrollar la aplicación ***SIGA*** *(Sistema de Gestión de Información para Granjas Avícolas).* Esta hoja electrónica presenta la ventaja de la inclusión del software estadístico R como complemento de la interfaz gráfica Microsoft Excel ®, permitiéndole convertirse en una herramienta informática asequible y de fácil uso para cualquier productor, y con la posibilidad de ser mejorada a través de la inclusión de comandos en lenguajes de R, formulas y macros de Excel, y el uso de programación con Visual Basic.

Para llevar a término la aplicación SIGA, se pasó por las fases de toma de información productiva de las granjas, definición de los mejores modelos para ajustar la curva de crecimiento y producción, diseño de la interfaz gráfica y validación del sistema. Para la primera fase se tomó información primaria de los productores de cinco granjas avícolas de Antioquia, por medio de encuestas y reuniones con los productores para la socialización de los esquemas del sistema productivo. Esta información permitió diseñar diagramas de flujo donde se plasman las interrelaciones entre procesos, actividades e insumos propios de cada fase del sistema de producción avícola en las etapas de cría, levante y producción. Estos esquemas fueron estructurados bajo los lineamientos de Lenguaje Unificado de Modelado (UML), herramienta básica y sustrato necesario para la programación y diseño de la hoja electrónica. El aporte de esta fase es que cualquier persona con conocimientos básicos de programación puede diseñar aplicaciones que incorporen la dinámica de los componentes y así generar modelos de aplicación en la producción avícola.

Para la definición del mejor modelo para ajustar la curva de crecimiento en aves se usaron aves de la línea Lohmann LSL, y al comparar los modelos no lineales mixtos, Gompertz y Richards presentaron el mejor ajuste, con valores de correlación entre los datos reales y ajustados del 0.991 y 0.990 respectivamente.

Al querer comparar con literatura el desempeño de los modelos, parece que la mayoría de publicaciones se han realizado en pollo de engorde, lo cual puede deberse a la importancia de los parámetros de crecimiento y eficiencia como criterios de selección de líneas de pollo; ya que aves con tasa de crecimiento altas obtendrán su peso asintótico más rápido, lo que conlleva a menor tiempo del ave en el sistema, mayor rotación de individuos en el tiempo y por ende una mayor eficiencia desde el punto de vista de manejo, de instalaciones y nutricional.

Sin embargo se encontró que autores como Roush y Branton (2005), Eleroğlu et al., (2014), Mignon-Grasteau et al., (2001) y Sakomura, et al., (2005) utilizaron la función no lineal Gompertz para la modelación del crecimiento y la definición de los parámetros de ajuste. Goliomytis et al., (2003) para este mismo objetivo uso la función Richards, mientras que Rizzi et al., (2013) y Aggrey, (2002) usaron la funciones de Gompertz y Richards. Estos dos últimos autores concluyeron que ambos modelos tienen un ajuste similar, igual que lo encontrado en esta evaluación. También aseveraron que el modelo Gompertz es el más recomendado para ser usado, ya que Richards puede tener problemas para ajustar el peso asintótico a partir de datos que no tienen información más allá del punto de inflexión. Por lo cual se recomienda el uso del modelo Richards cuando el investigador tenga un set de datos de toda la fase de crecimiento y/o tenga como objetivo evaluar el efecto factores externos en la curva de crecimiento, debido a que el parámetro m del modelo es más sensible a cambios ambientales que la tasa de crecimiento o el valor asintótico (Aggrey, 2002).

En los artículos donde se evaluó el crecimiento los modelos no lineales y no lineales mixtos, presentaron problemas para ajustar la curva entre 130 y 150 días, al subestimar el valor del peso. Un análisis más detallado a la luz de la teoría del crecimiento multifásico de Kwakkel et al., (2005), quien menciona que al descomponerse el crecimiento corporal en ganancias de peso por grupos funcionales, se puede apreciar una curva con cuatro fases (figura 1). Las dos primeras fases corresponden al desarrollo visceral y esquelético, equivalente al 80% del total del crecimiento. La tercera fase que se da alrededor de la semana 19 tiene que ver con la madurez sexual, ya que se da el desarrollo del 40 al 70% del tracto reproductivo y la cuarta fase hace referencia a la acumulación de reservas grasas en el ave. Con base en lo anterior se puede inferir que el cambio en el aumento de peso entre las 18 y 21 semanas que los modelos no pudieron ajustar se debe al desarrollo del tracto reproductivo, como consecuencia de la madurez sexual e inicio de producción de huevos.

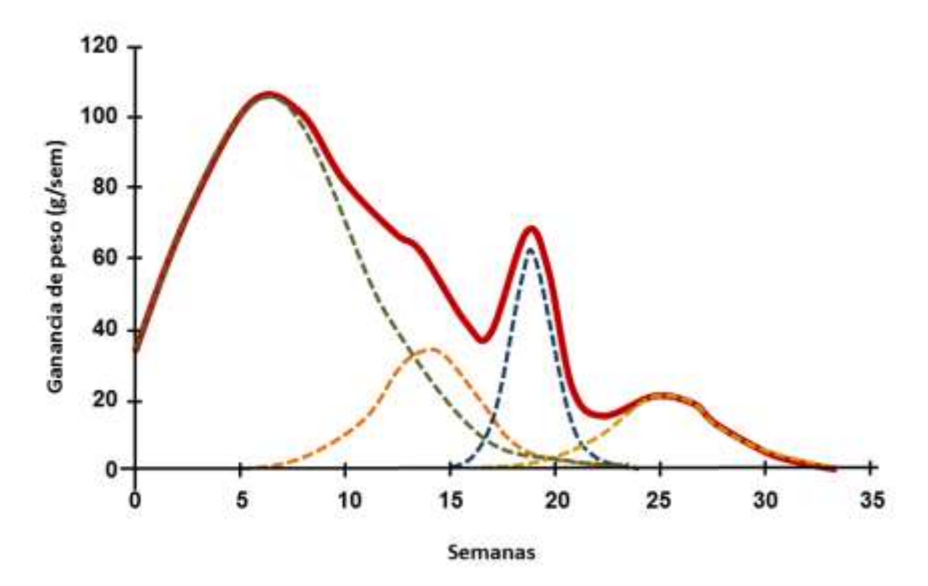


Figura 1. Patrón de ganancias de peso línea White Leghorn, adaptad de Kwakkel et al., (2005).

Esta fase es muy importante en la producción de huevos, ya que el potencial productivo depende directamente del peso y la edad a la que alcanza su madurez sexual, y la edad al primer huevo; donde aves con una temprana edad al inicio de postura van a tener un mayor número de huevos por ave alojada, pero si su peso es bajo el tamaño de los huevos también lo serán (Gous, 2014). De modo que una curva de crecimiento óptima para el ave sería aquella con la combinación de un peso asintótica baja y una tasa de madurez alta, de modo que el periodo improductivo sea corto con una producción de huevos en un peso aceptable y además incurriendo en menores costos por alimentación, siendo una asociación desde el punto de vista económico aceptable en el caso de selección de reproductoras de pollo de engorde (Di Masso, 1998), pero sería contraproducente en el caso de producción de huevo comercial, donde el precio de venta está condicionado por el peso del huevo. En este caso sería deseable un ave con un mayor peso, asociado a una tasa de crecimiento lenta, de modo que la edad de madurez coincida con una talla corporal óptima. El objetivo del peso corporal y la madurez sexual requiere de planes de manejo nutricional y de iluminación, acordes a las necesidades propias de la línea (Min et al., 2012; Ezieshi et al., 2012) los

cuales pueden ser programados acorde al desarrollo del ave, al determinar con el uso de modelos de crecimiento, cuál será la edad y el peso en que el lote va a alcanzar su madurez sexual.

Para la modelación de la curva de huevos, Narushin y Takma (2003), compararon los modelos Adams Bell y Lokhorst los cuales funcionaron de forma similar alcanzando valores de R^2 de 0.973.

Los datos que utilizaron estos investigadores tenían una estructura grafica similar a los de la línea LSL, la cual fue ajustada con los modelos Adams Bell y Lokhorst con valores de R^2 de 0.96 y 0.99, respectivamente. Al contrastar nuestros resultados con los presentados por Narushin y Takma (2003), se puede afirmar que ambos modelos tienen un ajuste óptimo a la curva de producción de huevos.

Miyoshi et al. (1996) evaluó la capacidad del modelo Adams Bell para ajustarse a 6 tipos diferentes de curvas de producción de huevo (patrones) (figura 2). Para los patrones 1 y 2 el modelo obtuvo valores de R^2 de 0.998 y 0.999, mostrando una gran capacidad de ajuste a curvas que tienen un ascenso rápido y un descenso prolongado en el tiempo como la presentada por la línea LSL e IB en nuestra evaluación (R^2 0.91 y 0.96) (figura 3).

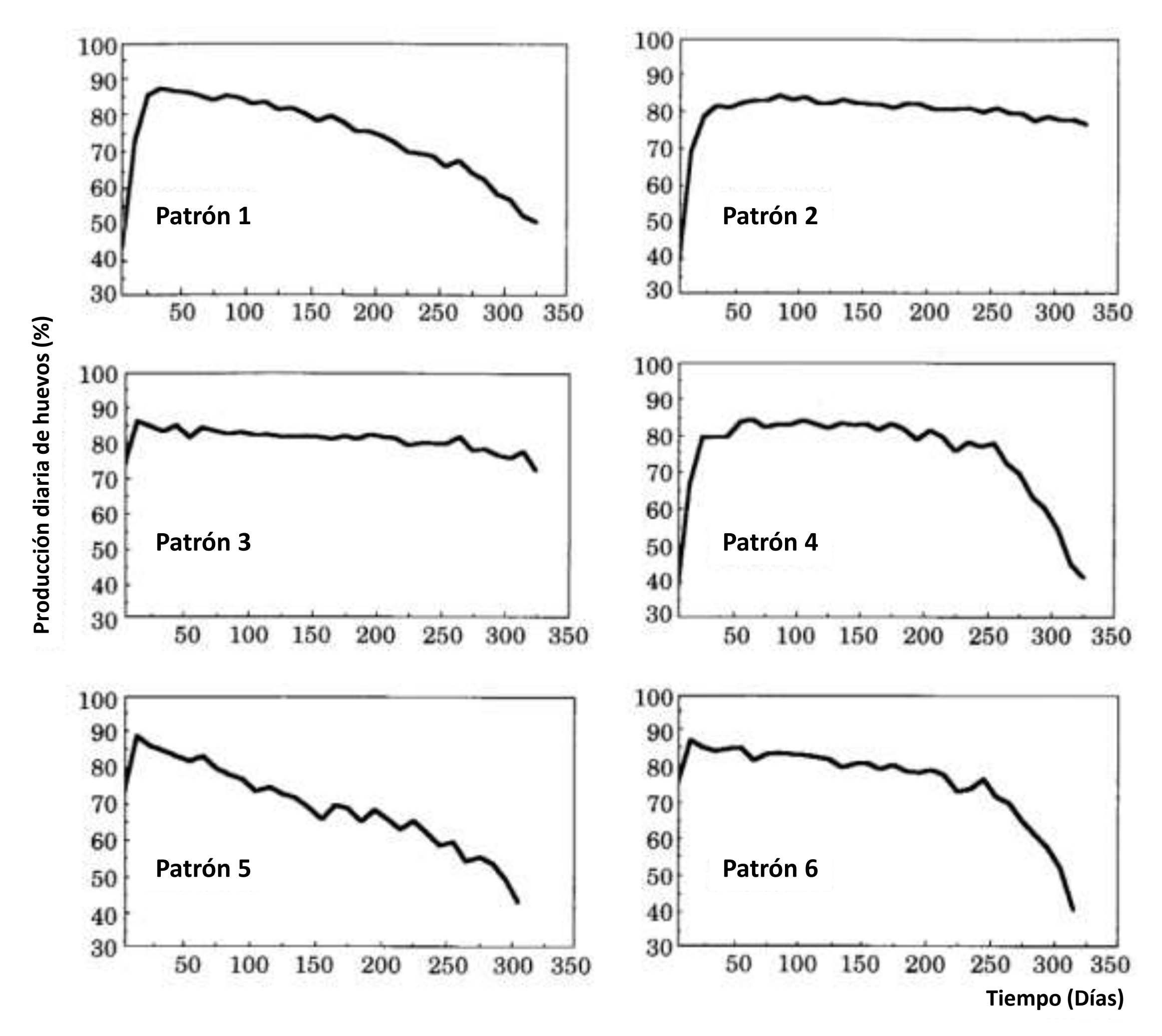


Figura 2. Tomado de Miyoshi et al. (1996). Patrones (curvas de producción) evaluadas en su publicación “Application of nonlinear models to egg production curves in chickens”

Los 4 restantes patrones mostrados por Miyoshi et al. (1996) no fueron ajustadas por el modelo, lo que resulta llamativo ya que el patrón 3 tiene una forma similar a la curva de LB y el patrón 4 se asemeja a la curva de HB, las cuales fueron ajustadas por el modelo (R^2 0.74 y 0.84). Estas curvas se caracterizan por tener una caída fuerte de la producción a partir de la semana 50, gran número de altibajos en la cantidad de huevos o una etapa corta de arranque de la producción con valores porcentuales altos (>60%). En ambos ensayos se denota la dificultad del modelo para ajustar este tipo de curvas en comparación con los valores de ajuste para los patrones 1 y 2, y las curvas LB y HB.

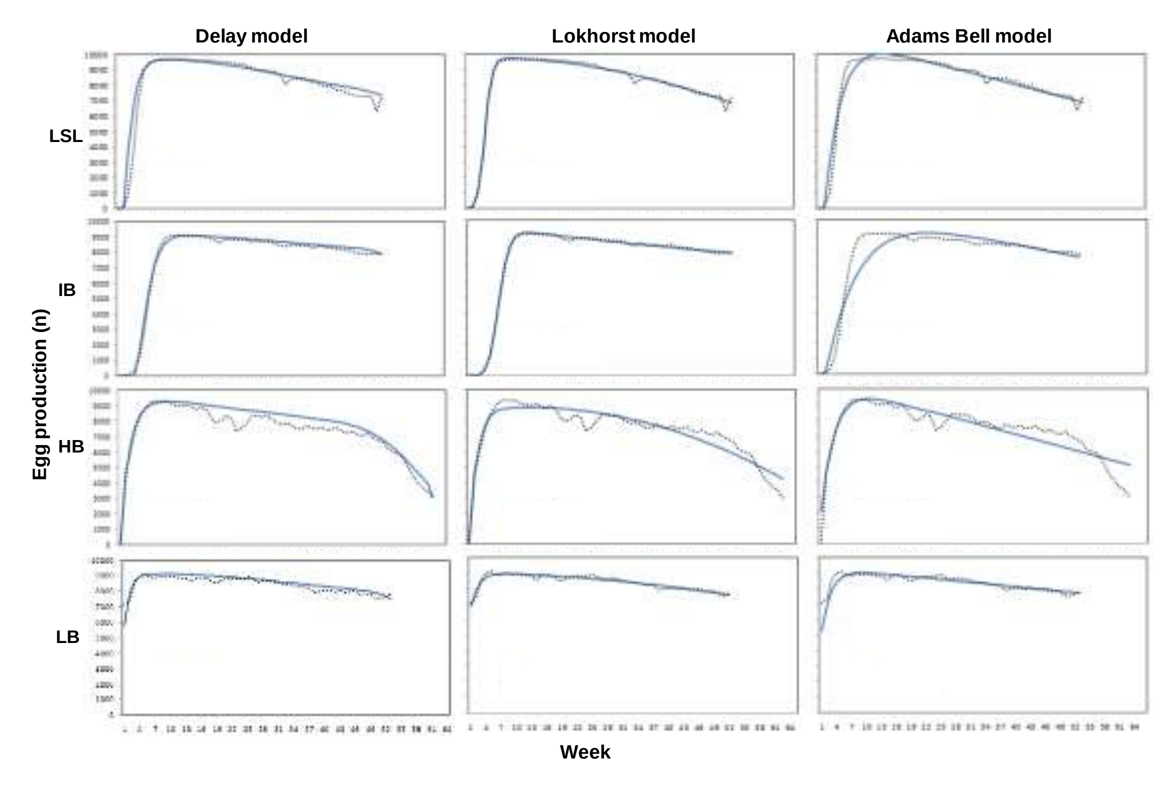


Figura 3. Tomado de Galeano et al. (1996). Curvas de producción evaluadas en su publicación “Uso del modelo de distribución con retardo para predecir la producción de huevos en gallinas ponedoras”. La línea punteada negra es el valor real y el alinea azul es el estimado por el modelo. Hy Line Brown (HB), Lohmann LSL (LSL), Isa Brown (IB), and Lohmann Brown (LB).

Miyoshi et al. (1996) concluyen su artículo afirmando que los modelos no lineales no tienen la capacidad de ajustar patrones con tantas irregularidades en la curva. Estos cambios en la curva pueden ser ocasionados por factores como: ambientales (Tumová y Gous, 2012), genéticos (Ledur et al., 2000), infecciosos (Lott et al., 1978), nutricionales – deficiencias de nutrientes (Ahmadi y Fariba, 2011), nutricionales – micotoxicosis (Jewers, 1990) y propias de ave (Du Plessis y Erasmus, 2002), entre otras.

Tanto los modelos usados para el ajuste de las curvas de crecimiento y de producción tienen limitantes para su correcto funcionamiento, una de ellas es que

para su ajuste se necesitan valores iniciales del modelo (valores semilla) sobre los cuales se inicia el proceso de iteración, si estos valores están muy alejados el proceso de iteración del modelo se hará muy lento e incluso puede fallar (Savegnago et al., 2011). Otro aspecto es la libertad que ofrecen las redes para construir el modelo con cuantas entradas y salidas se desee incorporar, esta arquitectura dependerá de la estructura de la base de datos y los objetivos a evaluar por parte del investigador (Savegnago et al., 2011). Las redes neuronales al hacer parte de las técnicas no paramétricas permiten al usuario hacer estimaciones sin necesidad de cumplir con supuestos estadísticos (distribución de las variables, homogeneidad de varianzas, independencia de los errores, distribución normal de los errores, entre otros), este aspecto hace que la red pueda recibir toda clase de datos (Roush et al., 2006).

Al comparar la capacidad de ajuste de las curvas de crecimiento y producción de huevos entre los modelos no lineales y las redes neuronales, obtuvimos los mismos resultados que Roush et al. (2006) y Savegnago et al. (2011), donde el modelo neuronal supero en grado de ajuste a su contraparte, pero con la desventaja de no obtener parámetros con interpretación biológica, ya que las redes funcionan como cajas negras y sus componentes no ofrecen ninguna inferencia sobre los aspectos biológicos que se modelaron.

La habilidad de la redes neuronales artificiales (RNA) para la predicción de eventos en avicultura ya ha sido evaluada, por ejemplo Faridi et al. (2012) evaluó las capacidad de las RNA para estimar las características de la canal en pollos de engorde. Ahmad y Mariano (2006) construyeron una red que les permitía estimar el precio de venta del huevo, a partir del historial de los años 1993 al 2000 incluyendo aspecto como: precio del huevo, numero de aves, número de aves encasetada y exportaciones de huevo; llegando a obtener un R^2 del 60% superando al 37% que arrojó un modelo lineal con el que se comparó la red. De igual forma se han usado las RNA para predecir la viabilidad de nacimientos de huevos para incubación durante el ciclo temprano de la producción en gallinas. En esta evaluación superó a

un modelo de regresión lineal (R^2 70%), modelo de lógica difusa (R^2 87%) obteniendo un valor de R^2 de 99%. También se han hecho comparaciones entre las RNA y otros metodologías estadísticas para la estimar las necesidad des de energía metabolizable verdadera para carne y hueso en pollos (Perai et al., 2010).

Los resultados anteriores concuerdan con el desempeño de los modelos neuronales evaluados en este trabajo, donde superaron a modelos no lineales en la predicción de la producción diaria de huevos y ofrecen la posibilidad de una ventana de estimación de 7 días en la producción, que permiten al productor bajo las condiciones de la evaluación, proyectar el rendimiento productivo de las aves a futuro y tomar decisiones sobre la tendencia de la curva que la RNA le entrega como resultado.

La estructura del modelo Elman quedó compuesta por 27 neuronas, con 6 neuronas de entrada de información (edad, producción en los periodos t-5, t-4, t-3, t-2 y t-1), 10 neuronas ocultas, 10 neuronas de contexto y una neurona de salida. El modelo Jordan tiene 18 neuronas, con 6 neuronas de entrada, 10 neuronas ocultas, una neurona de contexto y una neurona de salida. Mientras que el Perceptrón multicapa tiene 17 neuronas, con 6 neuronas de entrada, 10 neuronas ocultas y una neurona de salida. Los pesos entre las conexiones que las redes calcularon aparecen en las tablas 1, 2 y 3 de este capítulo.

SIGA Sistema de Gestión de Información para Granjas Avícolas

Es la materialización de los capítulos donde se evaluó la funcionalidad de los modelos no lineales, no lineales mixtos y redes neuronales para el ajuste de la curva de crecimiento y producción. Debido a que los modelos de mejor desempeño se incorporaron en la aplicación para la modelación del crecimiento y la producción.

A la fecha la aplicación (**SIGA**) consta de una interfaz del usuario, e incluye cinco formularios diseñados para el ingreso de información inherente a la producción sobre aspectos tales como: alimentación, medio ambiente, sanidad, manejo y administración. Además, tiene hojas de registro de la información productiva de las fases cría y levante, de Producción y del pesaje de aves. Ofrece al usuario la posibilidad obtener resultados numéricos y gráficos facilitando el análisis del estado productivo del lote al contrastarlo con los indicadores productivos propuestos por la línea genética.

Alcance y supuestos de la herramienta

El futuro de SIGA

A futuro se pretende incluir un módulo de costeo, que permita al usuario valorar económicamente el estado del lote y el resultado en un ambiente de simulación de los efectos productivos y económicos de la aplicación de cambios en el sistema.

Es necesario construir un modelo neuronal que incluya dentro de su estructura variables tales como: nutricionales, ambientales, de manejo y sanitarias, entre otras. Permitiendo evaluar la interacción de los componentes, sus posibles modificaciones y su efecto en la respuesta productiva de los animales.

Finalmente, convertir los módulos de captura de información de **SIGA** en una aplicación móvil con conectividad, de modo que su uso online agilice la circulación de información entre el responsable directo de la producción (galponero) y el administrador o encargado de la toma de decisiones gerenciales de la empresa avícola. Hoy en día este proceso puede tardar hasta 8 días entre la actualización del registro principal y la llegada de nueva información, por lo que la toma de decisiones no se puede hacer en tiempo real.

Referencias

1. Ahmad H A, Mariano M. Comparison of forecasting methodologies using egg price as a test case. Poult sci 2006; 85(4):798-807.
2. Ahmadi F, Fariba R. Factors affecting quality and quantity of egg production in laying hens: A Review. World Applied Sciences Journal 2011; 12(3): 372-384.
3. Bohórquez V D. Perspectiva de la producción avícola en Colombia. Tesis. Universidad militar nueva granada, Facultad de ciencias económicas. Especialización en alta gerencia. 2014. http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/12149/1/AVICULTURA.pdf
4. Di Masso R J, Dottavio A M, Canet Z E, Font M T. Body weight and egg weight dynamics in layers. Poult sci 1998; 77(6):791-796.
5. Du Plessis P H C, Erasmus J. The relationship between egg production, egg weight and body weight in laying hens. World's Poultry Science Journal 1972; 28(03):301-310.
6. Eleroğlu H, Yıldırım A, Şekeroğlu A, Çoksöyler, F N, Duman M. Comparison of Growth curves by growth models in slow–growing chicken genotypes raised the organic system. international journal of agriculture and biology. 2014; 16(3):529-535.
7. Ezieshi E V, Okorokpa B T, Olomu J M. Nutritional evaluation of yam peel meal for pullet chickens: 2. Effect of feeding varying levels on sexual maturity and laying performance. International Journal of Applied Agriculture and Apiculture Research, 2011; 7(1):46-53.
8. Faridi A, Sakomura N K, Golian A, Marcato S M. Predicting body and carcass characteristics of 2 broiler chicken strains using support vector regression and neural network models. Poult sci, 2012; 91(12): 3286-3294.
9. Goliomytis M, Panopoulou E, Rogdakis E. Growth curves for body weight and major component parts, feed consumption, and mortality of male broiler chickens raised to maturity. Poult sci 2003; 82(7):1061-1068.

10. Gous R M. Modeling as a research tool in poultry science. Poult sci, 2014; 93(1):1-7.
11. Jewers K. Mycotoxins and their effect on poultry production. Options Méditerranéennes 1990; 7:195-202.
12. Kwakkel R P, Ducro B J, Koops W J. Multiphasic analysis of growth of the body and its chemical components in White Leghorn pullets. Poult sci, 1993; 72(8):1421-1432.
13. Ledur M C, Fairfull R W, McMillan I, Asseltine L. Genetic effects of aging on egg production traits in the first laying cycle of White Leghorn strains and strain crosses. Poult sci, 2000; 79(3):296-304.
14. Lott B D, Drott J H, Vardaman T H, Reece F N. Effect of Mycoplasma synoviae on egg quality and egg production of broiler breeders. Poult Sci, 1978; 57(1):309-311.
15. Mehri M. A comparison of neural network models, fuzzy logic, and multiple linear regression for prediction of hatchability. Poul sci, 2013; 92(4):1138-1142.
16. Mignon-Grasteau S, Beaumont C, Ricard F H. Genetic analysis of a selection experiment on the growth curve of chickens. Poult sci 2001; 80(7):849-854.
17. Min J K, Hossan, M., Nazma, A., Jae, C. N., Han, T. B., Hwan, K. K., ... & Ok, S. S. (2012). Effect of monochromatic light on sexual maturity, production performance and egg quality of laying hens. Avian Biology Research, 5(2), 69-74.
18. Miyoshi S, Luc K M, Kuchida K, Takatsugu M. Application of non-linear models to egg production curves in chickens. Jpn Poult Sci 1996; 33:178-184
19. Narushin V G, Takma C. Sigmoid model for the evaluation of growth and production curves in laying hens. Biosystems engineering, 2003; 84(3):343-348.
20. Perai A H, Moghaddam H N, Asadpour S, Bahrampour J, Mansoori G. A comparison of artificial neural networks with other statistical approaches for

the prediction of true metabolizable energy of meat and bone meal. Poult sci, 2010; 89(7):1562-1568.

21. Rizzi C, Contiero B, Cassandro M. Growth patterns of Italian local chicken populations. Poult sci 2013; 92(8): 2226-2235.
22. Roush W B, Branton S L. A comparison of fitting growth models with a genetic algorithm and nonlinear regression. Poult sci 2005; 84(3):494-502.
23. Roush W B, Dozier W A, Branton S L. Comparison of Gompertz and neural network models of broiler growth. Poult sci 2006; 85(4): 794-797.
24. Sakomura N K, Longo F A, Oviedo-Rondon E O, Boa-Viagem C, Ferraudo A. Modeling energy utilization and growth parameter description for broiler chickens. Poult Sci 2005; 84(9):1363-1369.
25. Savegnago R P, Nunes B N, Caetano S L, Ferraudo A S, Schmidt G S, Ledur M C, Munari D P. Comparison of logistic and neural network models to fit to the egg production curve of White Leghorn hens. Poult sci, 2011; 90(3):705-711.
26. Tumová E, Gous R M. Interaction of hen production type, age, and temperature on laying pattern and egg quality. Poult sci, 2012; 91(5):1269-1275.

Tabla 1. Estructura matricial de los pesos de las conexiones de la estructura neuronal recurrente de Elman

	inp1	inp2	inp3	inp4	inp5	inp6	hid1	hid2	hid3	hid4	hid5	hid6	hid7	hid8	hid9	hid10	out1	con1	con2	con3	con4	con5	con6	con7	con8	con9	con10
inp1	0	0	0	0	0	0	0,40	-0,94	0,35	0,44	0,23	0,62	-0,11	0,45	-0,54	-1,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
inp2	0	0	0	0	0	0	0,99	-0,41	-0,01	-0,78	-0,33	0,96	-1,02	0,19	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
inp3	0	0	0	0	0	0	0,66	0,87	0,79	-0,84	-0,70	-0,64	0,43	0,46	0,52	0,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
inp4	0	0	0	0	0	0	0,50	-0,70	0,50	-0,63	-0,18	0,46	-0,05	0,74	1,09	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
inp5	0	0	0	0	0	0	-0,50	-0,43	-0,14	0,03	0,71	0,37	0,22	0,41	-0,68	-0,29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
inp6	0	0	0	0	0	0	-0,55	-0,86	-0,87	-0,15	0,95	0,02	-0,02	0,03	-0,69	0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
hid1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,39	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
hid2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,50	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
hid3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,37	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
hid4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
hid5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
hid6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,32	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
hid7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,92	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
hid8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,06	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
hid9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,87	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
hid10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
out1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
con1	0	0	0	0	0	0	0,21	-0,71	0,83	-0,74	0,80	-0,23	0,42	0,53	0,59	-0,73	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
con2	0	0	0	0	0	0	0,60	0,88	-0,63	0,39	0,71	0,60	0,06	0,89	-0,25	0,32	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0
con3	0	0	0	0	0	0	0,82	-1,00	0,71	0,08	0,10	-0,87	0,70	-1,11	-0,24	0,26	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0
con4	0	0	0	0	0	0	-0,34	-0,02	0,31	-0,22	-0,50	-0,26	-0,61	-0,62	-0,96	0,85	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0
con5	0	0	0	0	0	0	0,71	0,84	0,18	-0,43	-0,22	0,29	-0,80	0,48	-0,54	0,25	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0
con6	0	0	0	0	0	0	-0,29	-0,44	-0,80	0,08	0,59	0,01	-0,61	-0,81	-0,54	0,70	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0
con7	0	0	0	0	0	0	0,47	-0,56	-0,38	-0,72	0,45	0,15	-0,98	-0,23	-0,19	-0,89	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0
con8	0	0	0	0	0	0	0,60	0,70	0,52	0,58	0,91	0,39	-0,09	0,33	-0,09	-0,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0
con9	0	0	0	0	0	0	-0,06	0,19	0,97	0,92	-0,24	-0,37	0,97	-0,29	0,35	-0,47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0
con10	0	0	0	0	0	0	0,98	0,15	0,53	-0,17	-0,90	0,53	-0,41	0,33	-0,57	-0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3

Tabla 2. Estructura matricial de los pesos de las conexiones de la estructura neuronal recurrente de Jordan

	inp1	inp2	inp3	inp4	inp5	inp6	hid1	hid2	hid3	hid4	hid5	hid6	hid7	hid8	hid9	hid10	out1	con1
inp1	0	0	0	0	0	0	-0,69	0,20	-0,05	-0,51	0,14	-0,69	0,61	0,15	0,53	0,59	0	0
inp2	0	0	0	0	0	0	0,81	-0,06	0,95	-0,06	0,82	-0,90	0,66	0,23	-0,28	-0,46	0	0
inp3	0	0	0	0	0	0	-0,02	0,57	0,85	-0,60	-0,57	-1,00	-0,79	0,75	-0,73	-0,50	0	0
inp4	0	0	0	0	0	0	-0,74	-0,32	0,91	0,49	-0,96	-0,10	-0,19	0,36	0,90	-0,32	0	0
inp5	0	0	0	0	0	0	0,43	0,02	-0,48	-0,85	0,96	0,52	0,64	0,00	0,15	-0,72	0	0
inp6	0	0	0	0	0	0	0,79	0,19	-0,17	-0,22	-0,98	-0,88	0,10	0,69	-0,66	0,32	0	0
hid1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,01	0
hid2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,59	0
hid3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,01	0
hid4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,85	0
hid5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,46	0
hid6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,42	0
hid7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,55	0
hid8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,03	0
hid9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,58	0
hid10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,51	0
out1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
con1	0	0	0	0	0	0	-0,51	0,37	0,03	0,22	-0,54	-0,49	-0,92	0,12	0,48	0,31	0	0,3

Tabla 3. Estructura matricial de los pesos de las conexiones de la estructura neuronal del Perceptrón multicapa

	inp1	inp2	inp3	inp4	inp5	inp6	hid1	hid2	hid3	hid4	hid5	hid6	hid7	hid8	hid9	hid10	out1
inp1	0	0	0	0	0	0	0,20	0,00	-0,19	-0,30	0,09	-0,32	-0,22	-0,02	0,15	0,12	0
inp2	0	0	0	0	0	0	-0,03	0,09	0,07	0,20	-0,12	0,15	0,24	0,09	-0,13	0,09	0
inp3	0	0	0	0	0	0	0,01	-0,20	0,12	0,01	-0,03	0,10	0,21	-0,01	0,16	-0,12	0
inp4	0	0	0	0	0	0	-0,10	-0,23	0,28	0,34	-0,09	0,13	0,25	0,27	-0,21	0,03	0
inp5	0	0	0	0	0	0	-0,36	0,03	0,25	0,27	0,09	0,38	0,27	0,33	0,12	-0,23	0
inp6	0	0	0	0	0	0	-0,37	-0,31	0,25	0,25	-0,02	0,03	0,22	0,30	0,10	0,04	0
hid1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,66
hid2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,39
hid3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,42
hid4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,64
hid5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,16
hid6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,39
hid7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,65
hid8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45
hid9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,11
hid10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,19
out1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Recomendaciones Generales

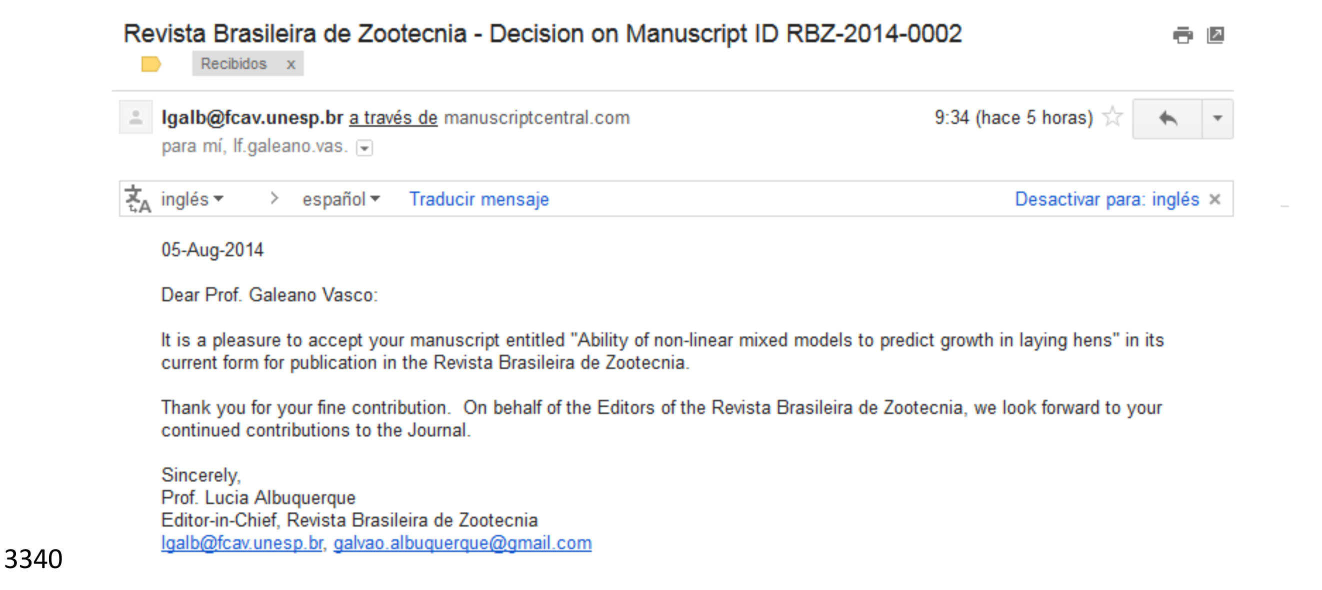
Con el objetivo de generar alternativas de modernización en el sector avícola colombiano, es necesario profundizar en el proceso de creación y validación con el uso de nuevas tecnologías para la captura de información, monitoreo y control de las condiciones de manejo y ambientales de los sistemas productivos. Lo anterior generará un banco de datos necesarios para la construcción de los modelos que simulen el efecto de las variables que tienen participación directa o indirecta en la respuesta productiva del ave. Esta información será el sustrato para el desarrollo de investigaciones que fortalezcan la línea de Biomodelación del grupo Gamma y la generación de aplicaciones informáticas que faciliten la toma de decisiones gerenciales en tiempo real.

A futuro, con el fin de mejorar el alcance de la aplicación informática, es necesario incorporar un módulo de costos, de modo que las variables y sus efectos sean valorados desde el punto de vista económico.

Además, es necesario incorporar más variables al sistema a partir del uso de modelación dinámica y probabilística, la cual permita incorporar la valoración del riesgo en la toma de decisiones del sistema productivo.

Anexos

Anexo 1. Comunicado de aceptación para la publicación del artículo "Ability of non-linear mixed models to predict growth in laying hens" en la Revista Brasileira de Zootecnia.



Revista Brasileira de Zootecnia - Decision on Manuscript ID RBZ-2014-0002

Recibidos x

lgalb@fcav.unesp.br a través de manuscriptcentral.com 9:34 (hace 5 horas)

para mí, lf.galeano.vas.

inglés > español Traducir mensaje Desactivar para: inglés ×

05-Aug-2014

Dear Prof. Galeano Vasco:

It is a pleasure to accept your manuscript entitled "Ability of non-linear mixed models to predict growth in laying hens" in its current form for publication in the Revista Brasileira de Zootecnia.

Thank you for your fine contribution. On behalf of the Editors of the Revista Brasileira de Zootecnia, we look forward to your continued contributions to the Journal.

Sincerely,
Prof. Lucia Albuquerque
Editor-in-Chief, Revista Brasileira de Zootecnia
lgalb@fcav.unesp.br, galvao.albuquerque@gmail.com

Anexo 2. Reglamento de la revista Brasileira de Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science (RBZ)

Guidelines to prepare the manuscript

Structure of a full-length research article

Figures, Tables, and Acknowledgments should be sent as separated file and not as part of the body of the manuscript.

The article is divided into sections with centered headings, in bold, in the following order: Abstract, Introduction, Material and Methods, Results, Discussion (or Results and Discussion), Conclusions, Acknowledgments (optional) and References. The heading is not followed by punctuation.

Manuscript format

The text should be typed by using Times New Roman font at 12 points, double-space (except for Abstract and Tables, which should be set in space 1.5), top, inferior, left and right margins of 2.5; 2.5; 3.5, and 2.5 cm, respectively.

The text should contain up to 25 pages, sequentially numbered in arabic numbers at the bottom, leaving the authors to bear the additional costs of publishing extra pages at the time of publication (see publication costs). The file must be edited by using Microsoft Word® *software*.

Title

The title should be precise and informative, with no more than 20 words. It should be typed in bold and centered as the example: Nutritional value of sugar cane for ruminants. Names of sponsor of grants for the research should always be presented in the Acknowledgments section.

Authors

The name and institutions of authors will be requested at the submission process; therefore it should not be presented in the body of the manuscript. Please see the topic Guidelines to submit the manuscript for details.

The listed authors should be no more than eight.
Spurious and "ghost" authorships constitute an unethical behavior. Collaborative inputs, hand labor, and other types of work that do not imply intellectual contribution may be mentioned in the Acknowledgments section.

Abstract

The abstract should contain no more than 1,800 characters including spaces in a single paragraph. The information in the abstract must be precise. Extensive abstracts will be returned to be adequate with the guidelines.

The abstract should summarize the objective, material and methods, results and conclusions. It should not contain any introduction. References are never cited in the abstract.

The text should be justified and typed in space 1.5 and come at the beginning of the manuscript with the word ABSTRACT capitalized, and initiated at 1.0 cm from the left margin. To avoid redundancy the presentation of significance levels of probability is not necessary in this section.

Key Words

At the end of the abstract list at least three and no more than six key words, set off by commas and presented in alphabetical order. They should be elaborated so that the article is quickly found in bibliographical research. The key words should be justified and typed in lowercase. There must be no period mark after key words.

Introduction

The introduction should not exceed 2,500 characters with spaces, briefly summarizing the context of the subject, the justifications for the research and its objectives; otherwise it will be rerouted for adaptation. Discussion based on references to support a specific concept should be avoided in the introduction.

Inferences on results obtained should be presented in the Discussion section.

Material and Methods

Whenever applicable, describe at the beginning of the section that the work was conducted in accordance with ethical standards and approved by the Ethics and Biosafety Committee of the institution.

A clear description on the specific original reference is required for biological, analytical and statistical procedures. Any modifications in those procedures must be explained in detail.

Results and Discussion

In making this section, the author is granted to either combine the results with discussion or to write two sections by separating results and discussion (which is encouraged). Sufficient data, with means and some measure of uncertainty (standard error, coefficient of variation, confidence intervals, etc.) are mandatory, to provide the reader with the power to interpret the results of the experiment and make his own judgment. The additional guidelines for styles and units of RBZ should be checked for the correct understanding of the exposure of results in tables. The results section cannot contain references.

In the discussion section, the author should discuss the results clearly and concisely and integrate the findings with the literature published to provide the reader with a broad base on which they will accept or reject the authors hypothesis.

Loose paragraphs and references presenting weak relationship with the problem being discussed must be avoided. Neither speculative ideas nor propositions about the hypothesis or hypotheses under study are encouraged.

Conclusions

Be absolutely certain that this section highlights what is new and the strongest and most important inferences that can be drawn from your observations. Include the broader implications of your results. The conclusions are stated by using the present tense.

Acknowledgments

This section is optional. It must come right after the conclusions.

The section acknowledgments must not be included in the body of the manuscript; instead, a file named Acknowledgment should be prepared and then uploaded as an additional document during submission. This procedure helps RBZ to conceal the identity of authors from the reviewers.

Use of abbreviations

Author-derived abbreviations should be defined at first use in the abstract, and again in the body of the manuscript, and in each table and figure in which they are used.

The use of author-defined abbreviations and acronyms should be avoided, as for instance: T3 was higher than T4, which did not differ from T5 and T6. This type of writing is appropriate for the author, but of complex understanding by the readers, and characterizes a verbose and imprecise writing.

Tables and Figures

It is essential that tables be built by option "Insert Table" in distinct cells, on Microsoft Word® menu (No tables with values separated by the ENTER key or pasted as figure

will be accepted). Tables and figures prepared by other means will be rerouted to author for adequacy to the journal guidelines.

Tables and figures should be numbered sequentially in Arabic numerals, presented as separate files to be uploaded, and must not appear in the body of the manuscript.

The title of the tables and figures should be short and informative, and the descriptions of the variables in the body of the table should be avoided.

In the graphs, designations of the variables on the X and Y axes should have their initials in capital letters and the units in parentheses.

Non-original figures, i.e., figures published elsewhere are only allowed to be published in RBZ with the express written consent of the publisher or copyright owner. It should contain, after the title, the source from where they were extracted, which must be cited.

The units and font (Times New Roman) in the body of the figures should be standardized.

The curves must be identified in the figure itself. Excessive information that compromises the understanding of the graph should be avoided.
Use contrasting markers such as circles, crosses, squares, triangles or diamonds (full or empty) to represent points of curves in the graph.

Figures should be built by using Microsoft Excel®, or even the *software* Corel Draw® (CDR extension) to allow corrections during copyediting, and uploaded as separate files, named figures during submission. Use lines with at least 3/4 width. Figures should be used only in monochrome and without any 3-D or shade effects. Do not use bold in the figures.

The decimal numbers presented within the tables and figures must contain a point, not a comma mark.

Mathematical formulas and equations must be inserted in the text as an object and by using Microsoft Equation or a similar tool.

References

Reference and citations should follow the Name and Year System (Author-date).

Citations in the text

The author's citations in the text are in lowercase, followed by year of publication. In the case of two authors, use ‘and'; in the case of three or more authors, cite only the surname of the first author, followed by the abbreviation et al.

Examples:

Single author: Silva (2009) or (Silva, 2009)

Two authors: Silva and Queiroz (2002) or (Silva and Queiroz, 2002)

Three or more authors: Lima et al. (2001) or (Lima et al., 2001)

The references should be arranged chronologically and then alphabetically within a year, using a semicolon (;) to separate multiple citations within parentheses, e.g.: (Carvalho, 1985; Britto, 1998; Carvalho et al., 2001).

Two or more publications by the same author or group of authors in the same year shall be differentiated by adding lowercase letters after the date, e.g. (Silva, 2004a,b).

Personal communication can only be used if strictly necessary for the development or understanding of the study. Therefore, it is not part of the reference list, so it is placed only as a footnote. The author's last name and first and middle initials,

followed by the phrase "personal communication", the date of notification, name, state and country of the institution to which the author is bound.

Reference section

References should be written on a separate page, and by alphabetical order of surname of author(s), and then chronologically.

Type them single-spaced, justified, and indented to the third letter of the first word from the second line of reference.

All authors' names must appear in the references section.

The author is indicated by their last name followed by initials. Initials should be followed by period (.) and space; and the authors should be separated by semicolons. The word ‘and' precedes the citation of the last author.

Surnames with indications of relatedness (Filho, Jr., Neto, Sobrinho, etc.) should be spelled out after the last name (e.g. Silva Sobrinho, J.).

Do not use ampersand (&) in the citations or in the reference list.

As in text citations, multiple citations of same author or group of authors in the same year shall be differentiated by adding lowercase letters after the date.

In the case of homonyms of cities, add the name of the state and country (e.g. Gainesville, FL, EUA; Gainesville, VA, EUA).

Sample references are given below.

Articles

The journal name should be written in full. In order to standardize this type of reference, it is not necessary to quote the website, only volume, page range and year. Do not use a comma (,) to separate journal title from its volume; separate periodical volume from page numbers by a colon (:).

Miotto, F. R. C.; Restle, J.; Neiva, J. N. M.; Castro, K. J.; Sousa, L. F.; Silva, R. O.; Freitas, B. B. and Leão, J. P. 2013. Replacement of corn by babassu mesocarp bran in diets for feedlot young bulls. Revista Brasileira de Zootecnia 42:213-219.

Articles accepted for publication should preferably be cited along with their DOI.
Fukushima, R. S. and Kerley, M. S. 2011. Use of lignin extracted from different plant sources as standards in the spectrophotometric acetyl bromide lignin method. Journal of Agriculture and Food Chemitry, doi: 10.1021/jf104826n (in press).

Books

If the entity is regarded as the author, the abbreviation should be written first accompanied by the corporate body name written in full.

In the text, the author must cite the method utilized, followed by only the abbreviation of the institution and year of publication.
e.g.: "...were used to determine the mineral content of the samples (method number 924.05; AOAC, 1990)".

Newmann, A. L. and Snapp, R. R. 1997. Beef cattle. 7th ed. John Wiley, New York.

AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. AOAC International, Arlington, VA.

Book chapters

The essential elements are: author (s), year, title and subtitle (if any), followed by the expression "In", and the full reference as a whole. Inform the paging after citing the title of the chapter.

Lindhal, I. L. 1974. Nutrición y alimentación de las cabras. p.425-434. In: Fisiologia digestiva y nutrición de los ruminantes. 3rd ed. Church, D. C., ed. Acríbia, Zaragoza.

Theses and dissertations

It is recommended not to mention theses and dissertations as reference but always to look for articles published in peer-reviewed indexed journals. Exceptionally, if necessary to cite thesis and dissertation, please indicate the following elements: author, year, title, grade, university and location.

Castro, F. B. 1989. Avaliação do processo de digestão do bagaço de cana-de-açúcar auto-hidrolisado em bovinos. Dissertação (M.Sc.). Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Palhão, M. P. 2010. Induced codominance and double ovulation and new approaches on luteolysis in cattle. Thesis (D.Sc.). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil.

Bulletins and reports

The essential elements are: Author, year of publication, title, name of bulletin or report followed by the issue number, then the publisher and the city.

Goering, H. K. and Van Soest, P. J. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agriculture Handbook No. 379. ARS-USDA, Washington, D.C., USA.

Conferences, meetings, seminars, etc.

Quote a minimal work published as an abstract, always seeking to refer articles published in journals indexed in full.

Casaccia, J. L.; Pires, C. C. and Restle, J. 1993. Confinamento de bovinos inteiros ou castrados de diferentes grupos genéticos. p.468. In: Anais da 30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Sociedade Brasileira de Zootecnia, Rio de Janeiro.

Weiss, W. P. 1999. Energy prediction equations for ruminant feeds. p.176-185. In: Proceedings of the 61th Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. Cornell University, Ithaca.

Article and/or materials in electronic media

In the citation of bibliographic material obtained by the Internet, the author should always try to use signed articles, and also it is up to the author to decide which sources actually have credibility and reliability.

In the case of research consulted online, inform the address, which should be presented between the signs < >, preceded by the words "Available at" and the date of access to the document, preceded by the words "Accessed on:".

Rebollar, P. G. and Blas, C. 2002. Digestión de la soja integral en rumiantes. Available at: <http://www.ussoymeal.org/ruminant_s.pdf.> Accessed on: Oct. 28, 2002.

Quotes on statistical *software*

The RBZ does not recommend bibliographic citation of *software* applied to statistical analysis. The use of programs must be informed in the text in the proper section, Material and Methods, including the specific procedure, the name of the *software*, its version and/or release year.

"... statistical procedures were performed using the MIXED procedure of SAS (Statistical Analysis System, version 9.2.)"

Structure of the article for short communication and technical note

The presentation of the title should be preceded by the indication of the type of manuscript whether it is a short communication or a technical note, which must be centered and bold.

The structures of short communications and technical notes will follow guidelines set up for full-length papers, limited, however, to 14 pages as the maximum tolerated for the manuscript.

Processing and publishing fees applied to communications and technical notes are the same for full-length papers, considering, however, the limit of four pages in its final form. A fee will be charged for publishing additional pages.

Anexo 3. Reglamento de la revista MVZ de Córdoba

Revista MVZ Córdoba

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La revista MVZ Córdoba es el órgano oficial de difusión de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Córdoba, Colombia, con periodicidad de publicación cuatrimestral y circula en el ámbito internacional. La revista publica (secciones) artículos originales de investigación, artículos técnicos, revisiones de literatura, revisiones de tema, comunicaciones breves, informes de casos y, otros que a juicio del Comité Editorial sean de interés general. Los temas que publica MVZ Córdoba están relacionados con la medicina veterinaria y zootecnia, acuicultura, biología, biotecnología, ciencias básicas biomédicas y otros tópicos de interés de las ciencias agropecuarias.

"La revista MVZ Córdoba apoya las políticas para registro de ensayos clínicos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y del International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE), reconociendo la importancia de esas iniciativas para el registro y divulgación internacional de información sobre estudios clínicos, en acceso abierto. En consecuencia, solamente se eceptarán para publicación, a partir de 2007, los artículos de investigaciones clínicas que hayan recibido un número de identificación en uno de los Registros de Ensayos Clínicos validados por los criterios establecidos por OMS e ICMJE, cuyas direcciones están disponibles en el sitio del ICMJE. El número de identificación se deberá registrar al final del resumen".

Los interesados en publicar deberán enviar al Editor una carta remisoria firmada por todos los autores declarando expresamente que el artículo remitido no ha sido publicado previamente y se indicará que los autores no tienen conflicto de intereses. El artículo se deberá enviar por correo electrónico, escrito en procesador de palabras, a doble espacio, con letra verdana a 12 puntos. Las márgenes no deben ser inferiores a 3 cm., y las páginas se numerarán consecutivamente incluyendo todo el material. Se aceptan artículos en español e inglés. Se recomienda observar las guías generales descritas abajo. La revista MVZ Córdoba se acoge a los requisitos generales de uniformidad para revistas biomédicas (normas de Vancouver).

1. **Presentación:** Debe contener la siguiente información:

1.1. Título del artículo: deberá ir en español e inglés. Este último deberá ir debajo del primero dejando doble espacio y en tamaño de letra menor que el principal. El título deberá ser preciso pero informativo y en lo posible no debe superar las 15 palabras.

1.2. Nombre, apellido del autor o autores. Para el segundo apellido solo se colocará la inicial en mayúscula seguida de coma y el grado académico más alto o el título profesional. Se deberá incluir la filiación institucional de los autores (institución, dirección, ciudad, país). Se deberá indicar además, el responsable de la correspondencia del manuscrito suministrando su correo electrónico.

1.3. Resumen: Deber ser estructurado y será máximo de 250 palabras. Deberá ofrecer una idea clara del contenido del artículo incluyendo: Objetivo, materiales y métodos, resultados y conclusiones. Estas secciones deberán ir con negrilla y luego punto seguido en donde se inicia el texto de cada sección.

1.4 Palabras clave: Son términos cortos

que ayudan a la clasificación del artículo. Se sugiere emplear 6 como máximo. Utilice los términos de la lista "Medical subject headings" (MeSH) u otro descriptor acorde con el tema de su investigación. (DeCS, BIREME, NLM, etc.).

1.5 Abstract (resumen traducido al inglés) debe poseer una estructura y contenido igual al de español.

1.6 Key words: Palabras clave, deben ser iguales a las de español, pero en idioma ingles.

2. **Introducción:** Debe indicar claramente el propósito de la investigación, relacionando igualmente en forma selectiva la literatura pertinente. No incluya datos ni conclusiones del trabajo que está dando a conocer. Al finalizar esta sección deberá hacerse con el objetivo general.

3. **Materiales y métodos:** Se debe describir claramente los procedimientos empleados en la investigación, incluyendo diseño estadístico y análisis de datos. Esta sección deberá ser estructurada indicando tipo de estudio, sitio, condiciones geo-climáticas, coordenadas del sitio de estudio, pacientes o animales de estudio, métodos de laboratorio, aspectos éticos, análisis de resultados, etc. Estas secciones deberán ir con negrilla y luego punto seguido en donde se inicia el texto de cada sección.

4. **Resultados:** Corresponde a la información de los hallazgos pero sin incluir comentarios ni referencias a otros trabajos. Se sugiere utilizar tablas y figuras, las cuales no deberán ser más de seis en lo posible.

5. **Discusión:** Es la interpretación de los resultados obtenidos y la contrastación de los mismos con otros estudios. Se debe destacar las limitaciones del estudio e igualmente evitar especulaciones. Resaltar las conclusiones del estudio, así como las recomendaciones para futuras investigaciones.

6. **Agradecimientos:** Mencionar las personas o instituciones que han colaborado con la investigación (financiera, logística, intelectual, entre otras.).

7. **Correspondencia:** Nombre completo del autor responsable, dirección laboral y residencial, correo electrónico, teléfono celular y teléfono fijo. Esta información puede ser suministrada en la carta remisoria o en una hoja al final del artículo remitido.

8. **Referencias:** Deben numerarse consecutivamente según el orden en que se mencionen por primera vez en el texto por medio de números arábigos colocados entre paréntesis. La lista de referencias se iniciará en hoja aparte, en estricto orden de aparición en el texto, no será en orden alfabético. Para los artículos originales no se aceptarán más de 30 referencias. Para revisiones de literatura hasta 50 referencias. Para la presentación de casos y comunicaciones breves hasta 12 referencias. Como guía general a continuación se presentan ejemplos de referencias bibliográficas.

8.1.Revistas

• Nombre del autor o autores • Título completo del artículo referenciado • Abreviatura internacional del nombre de la revista • Año • Volumen • Páginas incluidas. Las abreviaturas internacionales pueden consultarse en "*Journals database*" de PubMed, "*Catalogo C17*", "*DREV*", Revistas de biomedicina del IHCD de Valencia.

8.2.Libros y monografías

• Autor o editor • Título del libro, lugar de publicación, editorial, año de publicación y páginas consultadas.

8.3. Ejemplos para las referencias bibliográficas según las normas de Vancouver.

Artículos de Revistas

• **Artículos**
Autor/es. Título del artículo. Abreviatura internacional de la revista, año; volumen (número): página inicial-final del artículo.

Ejemplos: Díez Jarilla JL, Cienfuegos Vázquez M, Suárez Salvador E. Ruidos adventicios respiratorios: factores de confusión. Rev MVZ Córdoba 1999; 109: 632-634.

• **Más de seis autores**
Martín Cantera C, Córdoba García R, Jane Julio C, Nebot Adell M, Galán Herrera S, Aliaga M et al. Virus and public health J Vet Sci 1997; 109: 744-748.

• **Autor Corporativo**
Grupo de Trabajo del ICA. Normativa sobre el manejo de las hemoparasitos amenazantes. Rev MVZ Córdoba 1997; 33: 31-40.

• **No se indica nombre del autor**
Cáncer in South África (editorial). S Afr Vet J 1994; 84: 15-16.

Los artículos deben escribirse en su idioma original si la grafía es latina.

• **Suplemento de un volumen**
Bonfill X. La medicina veterinaria basada en la evidencia. Arch Vet 1997; 33 Supl 1: 117.

• **Suplemento de un número**
Leyha SS. The role of Interferon Alfa in the treatment of metastatic melanoma. Semin Oncol Vet 1997; 24 (1 Supl 4): 524-531.

• **Número sin volumen**
Pastor Durán. Informática médica y su implantación hospitalaria. Todo Hosp Vet 1997; (131): 7-14.

• **Sin número ni volumen**
Browell DA, Lennard TW. Inmunologic status of the cancer fish patient and the effects ofblood transfusion on antitumor responses. J Fish Culture 1993; 325-33.

• **Paginación en número romanos**
Fisher GA, Sikic BL. Drug resistance in clinical oncology and hematology. Hematol Oncol Clin North Am 1995 Abr; 9(2): XI-XII.

• **Indicación del tipo de artículo según corresponda**
Enzensberger W, Fischer PA. Metronome in Parkinson`s disease (letter). Lancet 1996; 347: 1337.

Clement J, De Bock R. Hematological complications of hantavirus nephropathy (HVN)(abstract). Kidney Int 1992; 42: 1285.

• **Documentos legales**
Leyes: Título de la ley. (Nombre del Boletín Oficial, fecha, año de publicación).Ley aprobada. Ley 31/ 1995 de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. (Boletín Oficial del Estado, número 269, de 10-11-95).

• **Mapa**
Nombre del mapa (tipo de mapa). Lugar de publicación: Editorial; año. Sada 21-IV (1 a 8) (mapa topográfico). Bogotá Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Dirección General del Instituto Geográfico; 2003.

Material no publicado
• **En prensa**
Vega A. Occurance of E.coli 0157:H7 on duch dayri farms Rev MVZ Córdoba in press 2007.

• **Artículo de revista en formato electrónico**
Autor. Título. Nombre de la revista abreviado (tipo de soporte) año

(fecha de acceso); volumen (número): páginas o indicador de extensión. Disponible en: Transmission of Hepatitis C Virus infection associated infusion therapy for hemophilia. MMWR (en línea) 1997 July 4 (fecha de acceso 11 de enero de 2001); 46 (26). URL disponible en: http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/00048303.htm

- **Monografía en formato electrónico**
Título. (Tipo de soporte). Editores o productores. Edición. Versión. Lugar de publicación: Editorial; año. Duane's Ophthalmology en CD-ROM User Guide. (monografía en CD-ROM). Tasman W, Jaeger E editor. versión 2.0. Hagenstown: Lippincolt-Raven; 1997.

- **Archivo informático**
Autor. Título. (Tipo de soporte). Versión. Lugar: Editorial; año.

- **Tesis de Maestría, doctorado y trabajos de grado**
Autor(es) título, Facultad, Departamento, año. Arrieta G. Producción de Verotoximas en Shigella. Tesis de Maestría, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; Departamento de Medicina, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia 2003.

9. **Fotografías:** Se podrán utilizar fotografías, de excelente calidad digital. La identificación, secuencia y títulos deben establecerse claramente para localizar el lugar que le corresponda en el contenido del artículo. Las fotografías deberán llevar el título de figura.

10. **Evaluación de artículos:** Los artículos recibidos para publicación, después de constatar que cumplen con las normas expresas de la Revista MVZ Córdoba, serán enviados a pares que conforman el Comité Científico para su respectiva evaluación. En caso de recibir algún manuscrito que por su especialidad de contenido no pueda ser evaluado por los miembros del comité, este será remitido a sendos evaluadores pertenecientes a la comunidad científica nacional o internacional.

En la redacción del contenido deberán respetarse las normas internacionales para manuscritos científicos que regulan las abreviaturas, literatura citada, símbolos, nomenclaturas atómicas, zoológicas, botánicas, químicas, entre otros. Los valores deben informarse en unidades del sistema métrico decimal y de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. La revista MVZ Córdoba y la Universidad de Córdoba no se responsabilizan por opiniones y resultados expresados por los autores, los cuales serán responsabilidad exclusiva de ellos.

Conflicto de intereses. Los autores deben expresar los intereses posibles que posean en el trabajo que realizaron.

Correspondencia: Los artículos, consultas, aclaraciones y correspondencia general se deben dirigir a la dirección abajo señalada, sin embargo, también los trabajos pueden ser remitidos en forma electrónica al editor o al coeditor. http://www.unicordoba.edu.co

Comité Editorial REVISTA MVZ CÓRDOBA Universidad de Córdoba
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Teléfonos (094) 894 0507 (094) 756 02 09
http://apps.unicordoba.edu.co/revistas/revistamvz/index.htm
Apartado Aéreo 354 Montería - Colombia
Editor: Marco González Tous. M.Sc.
marcog@escarsa.net.co

Anexo 4. Reglamento de la revista Colombiana de Ciencias Pecuarias

Author Guidelines

Types of articles

Original Research Articles

Clinical Cases and Case Studies

Literature Reviews

Short Communications

News and Letters to the Editor

Essays and Conference presentations

Maximum Length of Manuscripts

Manuscripts should not exceed the following (spaces included):

Literature review: 40.000 characters.

Original research article: 30.000 characters.

Clinical case, Case study, Essay, and Conference presentation: 15.000 characters.

Short communication: 10.000 characters.

Manuscript format Guidelines

The manuscript must be submitted as a Word file, using Times New Roman, 12 font, and 1,5 line spacing. All pages must be numbered. Please number all page lines as well and restart line numbering in each page.

Submissions will only be accepted in the English language (either American or British spelling). The editorial board of RCCP reserves the right to demand that authors revise the translation or to cancel the processing of the manuscript, if it contains errors of spelling, punctuation, grammar, terminology, jargons or semantics that can either compromise good understanding or not follow the Journal standards. It is strongly recommended that the translation process be made by native speakers of English.

2. ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

Research articles must be written fully in English.

Original research articles are unpublished manuscripts based on scientific and technological reports resulting from original research.

The first page should contain:

Title. Title should be in English, Spanish, and Portuguese (centered and bold). Scientific names should be set in italics (e.g., Bos indicus, Escherichia coli, Brucella abortus).

Names of authors. Names of authors should be centered and in the following order: first name, middle name initial and complete last name (without any punctuation marks between them), followed by a number (in superscript and italics) indicating the affiliation of the author. Use commas to separate academic degrees (abbreviated) of authors. Separate names of authors by semicolon (e.g., Jorge E Ossa1, MV, PhD; Fabio N Zuluaga2, MV, MSc).

Affiliation. Affiliations are placed below the authors, centered and with numbers corresponding to authors in superscript and italic font. Include complete affiliations for each author. E.g.:

Jorge E Ossa1, MV, PhD; Fabio N Zuluaga2, MV, MSc.

1BIOGENESIS Research Group, and Virology Laboratory, School of Medicine, Universidad de Antioquia, AA 1226, Medellín, Colombia.

2Medical Laboratory, hospital Las Américas, Medellín, Colombia.

Corresponding author. Must be referenced by an asterisk and placed as a footnote. Specify both mailing and e-mail addresses.

Summaries (abstracts) and keywords must be prepared in three languages: Summary (English), Resumen (Spanish), and Resumo (Portuguese):

Each Summary should be a single paragraph with up to 300 words, including the following subtitles (bolded): Background, Objective, Methods, Results, and Conclusions. Do not cite references and avoid abbreviations in the summaries.
Keywords. List 3 to 6 keywords in each language, separated by commas, and presented in alphabetical order and in italics. Keywords should not be repeated in the title.

Body of the manuscript:

Introduction. The introduction should not exceed 400 words. It should introduce the main problem studied, presenting the current literature associated with the topic, tested hypotheses, and objectives.

Materials and methods. This section can be divided into sub-sections and must include:

Approval from the Ethics Committee for Animal Experimentation (including date and the approval number).

Type of study. It includes the type of study conducted, species and sample size used.

Describe the methods used or standardized by the authors. If a method has already been described by other authors, do not include details but give the respective references. Methods modified by the authors should include the references and description of modifications made.

In case of subtitles describing procedures and protocols, proceed as follows:

First order subtitle. Type it in italic, do not use bold font. Begin the description of the procedure in the line below the subtitle.

Second order subtitle. Type it in italic, do not use bold font. Begin the description in the same line of the subtitle.

Methods should include:

Location of the study, animals used, statistical analysis (specifying the procedures used, the transformed data to facilitate analysis, statistical models applied, significance level, and error types).

Abbreviations and Acronyms. When a proper name is in a language other than the language of the manuscript, do not translate it. The name must be followed by its respective abbreviation in parentheses, e.g.: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Thereafter, use the abbreviation in the text without further explanation.

Chemical compounds and equipment used must be followed by the parent company, city, state and country between parentheses. E.g.: substance xx was used (Sigma, St Louis, MO, USA).

Results.

Titles and subtitles of this section follow the same rules previously described in Materials and methods.

Results must be expressed in past tense. Statistical significance must be shown in parentheses, e.g.: ($p<0.05$).

Tables and figures are placed where they are mentioned in the text (please do not place them at the end of the manuscript).

Photographs should be in high quality format (TIFF or EPS) with a minimum of 300 dpi.

All tables and figures must be referred into the text.

Express units of measurement according to the International System of Units (SI).

Use a space between the number and the unit, except for the symbol for percentage (%) and pesos or any other currency ($).

Abbreviated units should always be singular (e.g.: 3 cm. Do not write: 3 cms).

Do not use a period after a unit of measurement, except at the end of a sentence.

Do not repeat abbreviated units when expressing multiple amounts (e.g.: 3 - 5 kg. Do not write: 3 kg - 5 kg).

Use a period, and not a comma, to separate decimals (e.g.: 3.5. Do not write: 3,5).

All tables and figures (photographs included) should be identified by an Arabic number followed by a period. The table title must be located above the table and the figure title below the image. The first word for column and row headings should be capitalized.

Tables must only have horizontal lines between the title and subject headings (see examples of tables from previously published journal articles). Do not use vertical lines. Use Times New Roman font for the tables.

Units included in the headings should be set in parentheses. Numbers, letters or asterisks indicating notes placed below the table, statistical measures or particular meanings, should be written by superscript and set in italic font. Likewise, and just in special cases, explanatory notes about the methodology used can be placed underneath a table in italics.

Discussion.

The discussion is an independent component and not part of the results section. It should interpret and discuss the results obtained with relevant data from the literature. This section should include detailed discussions associated only with the results stated in the manuscript.

References within the text. Give the author(s)' last name(s) followed by the year of publication. E.g.: (Jaramillo, 2006; Zuluaga y Tobón, 2008; Botero et al., 2009) or Muñoz et al. (1998).

Acknowledgments.

You can mention institutions and people who financed or assisted in conducting the study, and also the grants awarded.

HOW TO WRITE THE REFERENCE LIST

Journal names must be abbreviated according to the Index Medicus guidelines, with no period at the end of abbreviations. References should be listed according to the following examples:

A. Original Research Articles

1. Original Article, e.g.:

Cushman RA, Allan MF, Kuehn LA, Snelling WM, Cupp AS, Freetly HC. Evaluation of antral follicle count and ovarian morphology in crossbred beef cows: Investigation of influence of stage of the estrous cycle, age, and birth weight. J Anim Sci 2009; 87:1971-1980.

2. Organization or Institution, e.g.:

Cardiac Society of Australia and New Zealand. Clinical exercise stress testing. Safety and performance guidelines. Med J Aust 1996; 164:282-284.

3. Reference with no Identified Author, e.g.:

Cancer in South Africa [editorial]. S Afr Med J 1994; 84:15.

4. Journal Supplement, e.g.:

Shen HM, Zhang QF. Risk assessment of nickel carcinogenicity and occupational lung cancer. Environ Health Perspect 1994; 102 Suppl 1:275-282.

5. Reference with neither Volume nor Number, e.g.:

Browell DA, Lennard TW. Immunologic status of the cancer patient and the effects of blood transfusion on antitumor responses. Curr Opin Gen Surg 1993:325-33.

B. Books

1. Author(s), e.g.:

Ringsven MK, Bond D. Gerontology and leadership skills for nurses. 2nd ed. Albany (NY): Delmar Publishers; 1996.

2. Book chapter, e.g.:

Phillips SJ, Whisnant JP. Hypertension and stroke. In: Laragh JH, Brenner BM, editors. Hypertension: pathophysiology, diagnosis, and management. 2nd ed. New York: Raven Press; 1995. p.465-78.

3. Editor(s) or Compiler(s) as Author(s), e.g.:

Norman IJ, Redfern SJ, editors. Mental health care for elderly people. New York: Churchill Livingstone; 1996.

4. Organization, e.g.:

Institute of Medicine (US). Looking at the future of the Medical program. Washington: The Institute; 1992.

C. Personal Communication

Cite personal communications in text only (do not include them in the reference list). Give the author's name, affiliation and provide a date when the communication took place, e.g.:

P. Jones (personal communication, April 15, 2005).

D. Electronic Reference, e.g.:

Morse SS. Factors in the emergence of infectious diseases. Emerg Infect Dis 1995; [access date: May 15, 2010] URL: http://www.cdc.gov/ncidod/EID/eid.htm

2. CLINICAL CASE

Must be written in English.

Include the following elements: Titles (in the three languajes), author(s), affiliation, abstracts (in three the languajes. Do not exceed 150 words), and keywords.

Abstracts must be organized by subtitles (in bold), including: Anamnesis, Clinical and laboratory findings, Treatment approach, and conclusion.

The body of the paper must include the following titles: Introduction, Patient examination (with the following subtitles: anamnesis, clinical findings, and diagnostic aids used), Treatment approach, Discussion, and Conclusion. References within the text should be cited as in Original Research Articles.

3. LITERATURE REVIEW AND ESSAY

Reviews and essays must be written fully in English.

Literature Review:

Critical analysis of the published literature about a subject of interest. It should contain at least 50 references. It should focus preferentially on animal sciences, including animal health and husbandry. Manuscripts must follow the previous rules, except for Materials and Methods, Results and Discussion; instead, use titles and subtitles about the review topic. Authors should discuss in detail the current literature; furthermore, authors should give a critical opinion about strengths, weaknesses, and research opportunities related to the proposed topic.

Essay:

An essay is a piece of writing in which the author expresses his/her ideas about a specific topic, generally related to the author's expertise or specialty.

4. LETTER TO THE EDITOR / NEWS

These can be in Spanish or preferentially in English.

Authors are free of choosing the writing style they prefer as long as it meets the editorial guidelines previously stated. Letters to the Editor should not exceed 500 words.

Submission Preparation Checklist

As part of the submission process, authors are required to check off their submission's compliance with all of the following items, and submissions may be returned to authors that do not adhere to these guidelines.

Declaration of the authors

Authors are required to fill, sign, and submit the form titled "Declaration of the Authors" along with the manuscript. It is acceptable to submit a packet of several independent forms that include the total of authors (e.g. if authors are at different locations they can sign separate forms).

Copyright Notice

All manuscripts accepted for publication become the sole property of RCCP. Before publication authors are requested to assign copyright to RCCP. You will hereby be relinquishing to RCCP all control over this material such as rights to make or authorize reprints, to reproduce the material in other publications, and to grant the material to others without charge in any book of which you are the author or editor after it has appeared in RCCP. As an author, you retain rights for large number of author uses, including use by your employing institute or company. These rights are retained and permitted without the need to obtain specific permission from RCCP. The preferred language for RCCP is English, and any translation of parts or the entire publication must have written permission from RCCP.

Privacy Statement

The names and email addresses entered in this journal site will be used exclusively for the stated purposes of this journal and will not be made available for any other purpose or to any other party.

Anexo 5. Reglamento de la revista Poultry Science

POULTRY SCIENCE INSTRUCTIONS TO AUTHORS[1]

Editorial Policies and Procedures

Poultry Science publishes the results of fundamental and applied research concerning poultry, poultry products, and avian species in general. Submitted manuscripts shall provide new facts or confirmatory data. Papers dealing with experimental design, teaching, extension endeavors, or those of historical or biographical interest may also be appropriate. A limited number of review papers will be considered for publication if they contribute significant additional knowledge, or synthesis of knowledge, to a subject area. Papers that have been, or are scheduled to be, published elsewhere will not be accepted. Publication of a preliminary report, such as an abstract, does not preclude consideration of a complete report for publication as long as it has not been published in full in a proceedings or similar scientific publication; appropriate identification of previously published preliminary reports should be provided in a title page footnote. Translation of an article into other languages for publication requires approval by the editor-in-chief. Opinions or views expressed in papers published by *Poultry Science* are those of the author(s) and do not necessarily represent the opinion of the Poultry Science Association or the editor-in-chief.

Contact Information for Journal Staff

For information on the scientific content of the journal, contact the editor-in-chief, Dr. Tom Porter, Department of Animal and Avian Sciences, University of Maryland, College Park, Building 142, College Park, MD 20742; e-mail: PS-Editor@umd.edu.

For assistance with Manuscript Central, manuscript submission and copyright forms, or page charge and offprint orders, contact Shauna Miller, Headquarters Office, 1800 South Oak Street, Suite 100, Champaign, IL 61820 (FAX: 217-378-4083; shaunam@assochq.org).

For questions about manuscript preparation or supplemental files, contact Lisa Krohn (lisak@assochq.org).

For permissions or other information, contact Susan Pollock, Headquarters Office, Poultry Science Association, 1800 South Oak Street, Suite 100, Champaign, IL 61820 (FAX: 217-378-4083; susanp@assochq.org).

Care and Use of Animals

Authors must make it clear that experiments were conducted in a manner that avoided unnecessary discomfort to the animals by the use of proper management and laboratory techniques. Experiments shall be conducted in accordance with the principles and specific guidelines presented in *Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching*, 3rd edition, 2010 (Association Headquarters, Champaign, IL 61822); and, if applicable, *Guide for the Care and Use of Laboratory Animals* (United States Department of Human Health and Services, National Institutes of Health, Publication Number ISBN 0-309-05377-3, 1996); or *Guide to the Care and Use of Experimental Animals*, 2nd ed. Volume 1, 1993 (Canadian Council on Animal Care). Methods of killing experimental animals must be described in the text. In describing surgical procedures, the type and dosage of the anesthetic agent must be specified. Intra-abdominal and intrathoracic invasive surgery requires anesthesia. This includes caponization. The editor-in-chief of *Poultry Science* may refuse to publish manuscripts that are not compatible with these guides. If rejected solely on that basis, however, the paper may be resubmitted for reconsideration when accompanied by a written verification that a committee on animal care in research has approved the experimental design and procedures involved.

Types of Articles

Full-Length Articles. The majority of papers published in *Poultry Science* are full-length articles. The journal emphasizes the importance of good scientific writing and clarity in presentation of the concepts, apparatus, and sufficient background information that would be required for thorough understanding by scientists in other disciplines. One of the hallmarks for experimental evidence is repeatability. The results of experiments published in *Poultry Science* must be replicated, either by replicating treatments within experiments or by repeating experiments. Care should be taken to ensure that experiments are adequately replicated.

Research Notes. Research Notes are short notes giving the results of complete experiments but are less comprehensive than full-length articles. Preliminary or progress reports will not be accepted. The running head shall be "RESEARCH NOTE." Authors must also indicate the section under which the manuscript is to be reviewed on the title page of the manuscript and on the Manuscript Submission and Copyright Release Form. Research Notes will be published as a subsection of the scientific section in which they were reviewed. Research Notes are limited to five printed pages including tables and figures. Manuscripts should be prepared according to the guidelines for full-length articles.

Symposium Papers. The symposium organizer or chair must present the proposal and tentative budget to

[1]Updated November 2012.

the Board of Directors at the summer meeting one full year before the symposium is to be scheduled. The symposium chair must then develop detailed symposium plans, including a formal outline of the talks approved and full budgetary expectations, which must be brought to the Board of Directors at the January meeting prior to the meeting at which the symposium is scheduled. The symposium chair must decide whether or not the symposium is to be published and will inform the editor-in-chief of this decision at the January meeting. If the decision is not to publish the symposium, the individual authors retain the right to submit their papers for consideration for the journal as ordinary manuscripts. If publication is decided upon, all manuscript style and form guidelines of the journal shall be followed. Manuscripts must be prepared electronically, including figures and tables, and then uploaded onto the *Poultry Science* Manuscript Central site within 2 weeks after the annual meeting. The symposium chair will review the papers and, if necessary, return them to the authors for revision. The symposium chair then forwards the revised manuscript to the editor-in-chief for final review. Final revisions by the author and recommendations for acceptance or rejection by the chair must be completed by December 31 of the year in which the symposium was presented. Manuscripts not meeting this deadline will not be included in the published symposium proceedings. Symposium papers must be prepared in accordance with the guidelines for full-length articles and are subject to review. Offprints and costs of pages are the responsibility of the author.

Invited Papers. Invited papers, such as the World's Poultry Science Association lecture, should be submitted online; the editorial office will then make these papers available to the editor-in-chief. These papers are subject to review, and all manuscript style and form guidelines of the journal shall be followed. Invited papers are exempt from page charges but not offprint charges.

Review Papers. Review papers are accepted only if they provide new knowledge or a high-caliber synthesis of important knowledge. Reviews are not exempt from pages charges. All *Poultry Science* guidelines for style and form apply.

Invited Reviews. Invited Reviews will be approximately 10 published pages and in review format. The editor-in-chief will send invitations to the authors and then review these contributions when they are submitted. Nominations or suggestions for potential timely reviews are welcomed and should be sent directly to the editor-in-chief.

Contemporary Issues. Contemporary Issues in *Poultry Science* will address critical issues facing poultry scientists and the poultry industry. As such, submissions to this section should be of interest to any poultry scientist, to the industry, to instructors and faculty teaching contemporary issues classes, and to undergraduate and graduate students. The section will consist of short papers (approximately 2 published pages) written in essay format and will include an abstract, appropriate subheadings, and references.

Rapid Communications. We aim for receipt-to-decision times of a month or less, and accepted papers will have priority for publication in the next available issue of *Poultry Science*. These papers will present informative and significant new findings, such as tissue-specific gene expression profile data with full-length cDNA and genomic gene structure characterization. These papers will be short (2 to 4 published pages), adhere to journal format, and include references and an abstract. Rapid Communications should not be preliminary reports or incomplete studies. Authors will select Rapid Communications as the paper type when submitting the paper.

Book Reviews. *Poultry Science* publishes reviews of books considered to be of interest to the readers. The editor-in-chief ordinarily solicits reviews. Unsolicited reviews must be sent directly to the editor-in-chief for approval. Book reviews shall be prepared in accordance to the style and form requirements of the journal, and they are subject to editorial revision. No page charges will be assessed.

Letters to the Editor. The purpose of letters will be to discuss, critique, or expand on scientific points made in articles recently published in *Poultry Science*. Introduction of unpublished data will not be allowed, nor will material based on conjecture or speculation. Letters must be received within 6 months of an article's publication. Letters will be limited to 400 words and 5 references (approximately 3 double-spaced, typed pages including references). Letters shall have a title. Author name(s) and affiliation(s) shall be placed between the end of the text and list of references. Letters will be sent electronically directly to the editor-in-chief for consideration. The author(s) of the original paper(s) will be provided a copy of the letter and offered the opportunity to submit for consideration a reply within 30 days. Replies will have the same page restrictions and format as letters, and the titles shall end with "—Reply." Letters and replies will be published together. Acceptability of letters will be decided by the editor-in-chief. Letters and replies shall follow appropriate *Poultry Science* format and may be edited by the editor-in-chief and a technical editor. If multiple letters on the same topic are received, a representative letter concerning a specific article will be published. All letters may not be published. Letters and replies will be published as space permits.

SUBMISSION OF ELECTRONIC MANUSCRIPTS

Authors should submit their papers electronically (http://mc.manuscriptcentral.com/ps). Detailed instructions for submitting electronically are provided online at that site. Authors who are unable to submit electronically should contact the editorial office (susanp@assochq.org) for assistance.

Copyright Agreement

Authors shall complete the Manuscript Submission and Copyright Release form for each new manuscript submission; faxed copies are acceptable. The form is published in *Poultry Science* as space permits and is available online (http://ps.fass.org). The copyright agreement is included in the Manuscript Submission and Copyright Release Form and must be completed by all authors before publication can proceed. The corresponding author is responsible for obtaining the signatures of coauthors. Persons unable to sign copyright agreements, such as federal employees, must indicate the reason for exemption on the form.

The Poultry Science Association grants to the author the right of republication in any book of which he or she is the author or editor, subject only to giving proper credit to the original journal publication of the article by the Association. The Poultry Science Association, Inc. retains the copyright to all materials accepted for publication in the journal. Please address requests for permission to reproduce published material to the editor-in-chief. All tables must be original material. If an author wishes to present data previously published in tabular form, copyright permission to reproduce the table must be obtained by the author and forwarded to the PSA editorial office, even when the format of the table submitted with the manuscript is different than the table already published.

If an author desires to reprint a figure published elsewhere, copyright permission to use the figure must be obtained by the author and forwarded to the PSA editorial office.

REVIEW OF MANUSCRIPTS

After a manuscript is submitted electronically, the editorial office checks the manuscript. If a manuscript does not conform to the format for *Poultry Science*, it will be returned to the author (rejected) without review. Manuscripts that pass initial screening will be forwarded to the appropriate section editor, who pre-reviews the manuscript and may suggest rejection at this early stage for fatal design flaw, inappropriate replications, lack of novelty, deviation from the Instructions for Authors, or other major concerns.

The section editor assigns two reviewers, at least one of whom is an associate editor. Each reviewer has 3 weeks to review the manuscript, after which his or her comments are forwarded to the section editor. The section editor may recommend rejection or acceptance at this point, after which the manuscript and reviewer comments are made available to the editor-in-chief for a final decision. More commonly, the manuscript will be sent back to the corresponding author for revision according to the guidelines of the reviewers. Authors have 6 weeks to complete the revision, which shall be returned to the section editor. Failure to return the manuscript within 6 weeks will cause the paper to be purged from the files. Purged manuscripts may be reconsidered, but they will have to be processed as new manuscripts. Section editors handle all initial correspondence with authors during the review process. The editor-in-chief will notify the author of the final decision to accept or reject. Rejected manuscripts can be resubmitted only with an invitation from the section editor or editor-in-chief. Revised versions of previously rejected manuscripts are treated as new submissions. Therefore, authors must complete a new Manuscript Submission and Copyright Release Form.

PRODUCTION OF PROOFS

Accepted manuscripts are forwarded by the editor-in-chief to the editorial office for technical editing and typesetting. At this point the technical editor may contact the authors for missing information or figure revisions. The manuscript is then typeset, figures reproduced, and author proofs prepared.

Proofs

Author proofs of all manuscripts will be provided to the corresponding author. Author proofs should be read carefully and checked against the typed manuscript, because the responsibility for proofreading is with the author(s). Corrections may be returned by fax, mail, or e-mail. For faxed or mailed corrections, changes to the proof should be made neatly and clearly in the margins of the proof. If extensive editing is required, corrections should be provided on a separate sheet of paper with a symbol indicating location on the proof. Changes sent by e-mail to the technical editor must indicate page, column, and line numbers for each correction to be made on the proof. Corrections can also be marked using the note and highlight tools to indicate necessary changes. Author alterations to copy exceeding 10% of the cost of composition will be charged to the author.

Editor queries should be answered on the galley proofs; failure to do so may delay publication.

Proof corrections should be made and returned to the technical editor within 48 hours of receipt.

Publication Charges and Offprints

Poultry Science has two options available for the publication of articles: conventional page charges and Open Access (OA).

OA. For authors who wish to publish their papers OA (available to everyone when the issue is posted online), authors will pay the OA fee when proofs are returned to the editorial office. Charges for OA are $2,400 if at least one author is a current professional member of PSA; the charge is $3,100 when no author is a professional member of PSA.

Conventional Page Charges. The current charge for publication is $100 per printed page (or fraction thereof) in the journal if at least one author is a professional member of PSA. If no author is a member of PSA, the publication charge is $170 per journal page.

Offprints. Offprints may be ordered at an additional charge. When the galley proof is sent, the author is asked to complete an offprint order requesting the number of offprints desired and the name of the institution, agency, or individual responsible for publication charges.

Color Charges. The cost to publish in color in the print journal is $995 per page of color; a surcharge for offprints will also be assessed. At the time of submission on Manuscript Central, authors will be asked to approve color charges for figures that they wish to have published in color in the print journal. Color versions of figures will be included in the online PDF and full-text article at no charge.

MANUSCRIPT PREPARATION: STYLE AND FORM

General

Papers must be written in English. The text and all supporting materials must use American spelling and usage as given in *The American Heritage Dictionary, Webster's Third International Dictionary,* or the *Oxford American English Dictionary*. Authors should follow the style and form recommended in *Scientific Style and Format. The CBE Manual for Authors, Editors, and Publishers*. 6th ed. Council of Biology Editors Style Manual Committee. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

Authors should prepare their manuscripts with Microsoft Word and upload them using the fewest files possible to facilitate the review and editing process.

Authors whose primary language is not English are strongly encouraged to use an English-language service to facilitate the preparation of their manuscript. A partial list of services can be found in the *Poultry Science* Manuscript checklist.

Preparing the Manuscript File

Manuscripts should be typed double-spaced, with lines and pages numbered consecutively, using Times New Roman font at 12 points. All special characters (e.g., Greek, math, symbols) should be inserted using the symbols palette available in this font. Complex math should be entered using MathType from Design Science (http://www.dessci.com). Equations created using the new Equation Builder feature in Microsoft Word 2007 may not be compatible with earlier versions of Word or other software used in our journal composition system. Tables and figures should be placed in separate sections at the end of the manuscript (not placed in the text). Failure to follow these instructions may result in an immediate rejection of the manuscript.

Headings

Major Headings. Major headings are centered (except ABSTRACT), all capitals, boldface, and consist of ABSTRACT, INTRODUCTION, MATERIALS AND METHODS, RESULTS, DISCUSSION (or RESULTS AND DISCUSSION), ACKNOWLEDGMENTS (optional), APPENDIX (optional), and REFERENCES.

First Subheadings. First subheadings are placed on a separate line, begin at the left margin, the first letter of all important words is capitalized, and the headings are boldface and italic. Text that follows a first subheading should be in a new paragraph.

Second Subheadings. Second subheadings begin the first line of a paragraph. They are indented, boldface, italic, and followed by a period. The first letter of each important word should be capitalized. The text follows immediately after the final period of the subheading.

Title Page

The title page shall begin with a running head (short title) of not more than 45 characters. The running head is centered, is in all capital letters, and shall appear on the top of the title page. No abbreviations should be used.

The title of the paper must be in boldface; the first letter of the article title and proper names are capitalized, and the remainder of the title is lowercase. The title must have no abbreviations, and numbers must be given in words rather than in numerals (e.g., One-Day-Old Broilers).

Under the title, names of authors should be typed (first name or initial, middle initial, last name). Affiliations will be footnoted using the following symbols: *, †, ‡, §, #, ‖, and be placed below the author names. Do not give authors' titles, positions, or degrees. Numbered footnotes may be used to provide supplementary information, such as present address, acknowledgment of grants, and experiment station or journal series number. The corresponding author should be indicated with a numbered footnote (e.g., [1]Corresponding author: myname@university.edu). Note that there is no period after the corresponding author's e-mail address.

The title page shall include the name and full address of the corresponding author. Telephone and FAX numbers and e-mail address must also be provided. The title page must indicate the appropriate scientific section for the paper (i.e., Education and Production; Environment, Well-Being, and Behavior; Genetics; Immunology, Health, and Disease; Metabolism and Nutrition; Molecular, Cellular, and Developmental Biology; Physiology, Endocrinology, and Reproduction; or Processing, Products, and Food Safety).

Authors may create a full title page as a one-page document, in a file separate from the rest of the paper. This file can be uploaded and marked "not for review." Authors who choose to upload manuscripts with a full title page at the beginning will have their papers forwarded to reviewers as is.

Abbreviations

Author-derived abbreviations should be defined at first use in the abstract and again in the body of the manuscript. The abbreviation will be shown in bold type at first

use in the body of the manuscript. Refer to the Miscellaneous Usage Notes for more information on abbreviations.

Abstract

The Abstract disseminates scientific information through abstracting journals and through convenience for the readers. The Abstract, consisting of not more than 325 words, appears at the beginning of the manuscript with the word ABSTRACT without a following period. It must summarize the major objectives, methods, results, conclusions, and practical applications of the research. The Abstract must consist of complete sentences and use of abbreviations should be limited. References to other work and footnotes are not permitted. The Abstract and Key Words must be on a separate sheet of paper.

Key Words

The Abstract shall be followed by a maximum of five key words or phrases to be used for subject indexing. These should include important words from the title and the running head and should be singular, not plural, terms (e.g., broiler, not broilers). Key words should be formatted as follows: Key words: . . .

Introduction

The Introduction, while brief, should provide the reader with information necessary for understanding research presented in the paper. Previous work on the topic should be summarized, and the objectives of the current research must be clearly stated.

Materials and Methods

All sources of products, equipment, and chemicals used in the experiments must be specified parenthetically at first mention in text, tables, and figures [i.e., (model 123, ABC Corp., Provo, UT)]. Model and catalog numbers should be included. Information shall include the full corporate name (including division, branch, or other subordinate part of the corporation, if applicable), city, and state (country if outside the United States), or Web address. Street addresses need not be given unless the reader would not be able to determine the full address for mailing purposes easily by consulting standard references.

Age, sex, breed, and strain or genetic stock of animals used in the experiments shall be specified. Animal care guidelines should be referenced if appropriate.

Papers must contain analyzed values for those dietary ingredients that are crucial to the experiment. Papers dealing with the effects of feed additives or graded levels of a specific nutrient must give analyzed values for the relevant additive or nutrient in the diet(s). If products were used that contain different potentially active compounds, then analyzed values for these coupounds must be given for the diet(s). Exceptions can only be made if appropriate methods are not available. In other papers, authors should state whether experimental diets meet or exceed the National Research Council (1994) requirements as appropriate. If not, crude protein and metabolizable energy levels should be stated. For layer diets, calcium and phosphorus contents should also be specified.

When describing the composition of diets and vitamin premixes, the concentration of vitamins A and E should be expressed as IU/kg on the basis of the following equivalents:

Vitamin A
- 1 IU = 0.3 μg of all-*trans* retinol
- 1 IU = 0.344 μg of retinyl acetate
- 1 IU = 0.552 μg of retinyl palmitate
- 1 IU = 0.60 μg of β-carotene

Vitamin E
- 1 IU = 1 mg of DL-α-tocopheryl acetate
- 1 IU = 0.91 mg of DL-α-tocopherol
- 1 IU = 0.67 mg of DL-α-tocopherol

In the instance of vitamin D_3, cholecalciferol is the acceptable term on the basis that 1 IU of vitamin D_3 = 0.025 μg of cholecalciferol.

The sources of vitamins A and E must be specified in parentheses immediately following the stated concentrations.

Statistical Analysis. Biology should be emphasized, but the use of incorrect or inadequate statistical methods to analyze and interpret biological data is not acceptable. Consultation with a statistician is recommended. Statistical methods commonly used in the animal sciences need not be described in detail, but adequate references should be provided. The statistical model, classes, blocks, and experimental unit must be designated. Any restrictions used in estimating parameters should be defined. Reference to a statistical package without reporting the sources of variation (classes) and other salient features of the analysis, such as covariance or orthogonal contrasts, is not sufficient. A statement of the results of statistical analysis should justify the interpretations and conclusions. When possible, results of similar experiments should be pooled statistically. Do not report a number of similar experiments separately.

The experimental unit is the smallest unit to which an individual treatment is imposed. For group-fed animals, the group of animals in the pen is the experimental unit; therefore, groups must be replicated. Repeated chemical analyses of the same sample usually do not constitute independent experimental units. Measurements on the same experimental unit over time also are not independent and must not be considered as independent experimental units. For analysis of time effects, use time-sequence analysis.

Usual assumptions are that errors in the statistical models are normally and independently distributed with constant variance. Most standard methods are robust to deviations from these assumptions, but occasionally data

transformations or other techniques are helpful. For example, it is recommended that percentage data between 0 and 20 and between 80 and 100 be subjected to arc sin transformation prior to analysis. Most statistical procedures are based on the assumption that experimental units have been assigned to treatments at random. If animals are stratified by ancestry or weight or if some other initial measurement should be accounted for, the model should include a blocking factor, or the initial measurement should be included as a covariate.

A parameter [mean (μ), variance (σ^2)], which defines or describes a population, is estimated by a statistic (x, s^2). The term parameter is not appropriate to describe a variable, observation, trait, characteristic, or measurement taken in an experiment.

Standard designs are adequately described by name and size (e.g., "a randomized complete block design with 6 treatments in 5 blocks"). For a factorial set of treatments, an adequate description might be as follows: "Total sulfur amino acids at 0.70 or 0.80% of the diet and Lys at 1.10, 1.20, or 1.30% of the diet were used in a 2 × 3 factorial arrangement in 5 randomized complete blocks consisting of initial BW." Note that a factorial arrangement is not a design; the term "design" refers to the method of grouping experimental units into homogeneous groups or blocks (i.e., the way in which the randomization is restricted).

Standard deviation refers to the variability in a sample or a population. The standard error (calculated from error variance) is the estimated sampling error of a statistic such as the sample mean. When a standard deviation or standard error is given, the number of degrees of freedom on which it rests should be specified. When any statistical value (as mean or difference of 2 means) is mentioned, its standard error or confidence limit should be given. The fact that differences are not "statistically significant" is no reason for omitting standard errors. They are of value when results from several experiments are combined in the future. They also are useful to the reader as measures of efficiency of experimental techniques. A value attached by "±" to a number implies that the second value is its standard error (not its standard deviation). Adequate reporting may require only 1) the number of observations, 2) arithmetic treatment means, and 3) an estimate of experimental error. The pooled standard error of the mean is the preferred estimate of experimental error. Standard errors need not be presented separately for each mean unless the means are based on different numbers of observations or the heterogeneity of the error variance is to be emphasized. Presenting individual standard errors clutters the presentation and can mislead readers.

For more complex experiments, tables of subclass means and tables of analyses of variance or covariance may be included. When the analysis of variance contains several error terms, such as in split-plot and repeated measures designs, the text should indicate clearly which mean square was used for the denominator of each F statistic. Unbalanced factorial data can present special problems. Accordingly, it is well to state how the computing was done and how the parameters were estimated. Approximations should be accompanied by cautions concerning possible biases.

Contrasts (preferably orthogonal) are used to answer specific questions for which the experiment was designed; they should form the basis for comparing treatment means. Nonorthogonal contrasts may be evaluated by Bonferroni t statistics. The exact contrasts tested should be described for the reader. Multiple-range tests are not appropriate when treatments are orthogonally arranged. Fixed-range, pairwise, multiple-comparison tests should be used only to compare means of treatments that are unstructured or not related. Least squares means are the correct means to use for all data, but arithmetic means are identical to least squares means unless the design is unbalanced or contains missing values or an adjustment is being made for a covariate. In factorial treatment arrangements, means for main effects should be presented when important interactions are not present. However, means for individual treatment combinations also should be provided in table or text so that future researchers may combine data from several experiments to detect important interactions. An interaction may not be detected in a given experiment because of a limitation in the number of observations.

The terms significant and highly significant traditionally have been reserved for $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively; however, reporting the P-value is preferred to the use of these terms. For example, use ". . . there was a difference ($P < 0.05$) between control and treated samples" rather than ". . . there was a significant ($P < 0.05$) difference between control and treated samples." When available, the observed significance level (e.g., $P = 0.027$) should be presented rather than merely $P < 0.05$ or $P < 0.01$, thereby allowing the reader to decide what to reject. Other probability (α) levels may be discussed if properly qualified so that the reader is not misled. Do not report P-values to more than 3 places after the decimal. Regardless of the probability level used, failure to reject a hypothesis should be based on the relative consequences of type I and II errors. A "nonsignificant" relationship should not be interpreted to suggest the absence of a relationship. An inadequate number of experimental units or insufficient control of variation limits the power to detect relationships. Avoid the ambiguous use of $P > 0.05$ to declare nonsignificance, such as indicating that a difference is not significant at $P > 0.05$ and subsequently declaring another difference significant (or a tendency) at $P < 0.09$. In addition, readers may incorrectly interpret the use of $P > 0.05$ as the probability of a β error, not an α error.

Present only meaningful digits. A practical rule is to round values so that the change caused by rounding is less than one-tenth of the standard error. Such rounding increases the variance of the reported value by less than 1%, so that less than 1% of the relevant information contained in the data is sacrificed. Significant digits in data reported should be restricted to 3 beyond the decimal point, unless warranted by the use of specific methods.

Results and Discussion

Results and Discussion sections may be combined, or they may appear in separate sections. If separate, the Results section shall contain only the results and summary of the author's experiments; there should be no literature comparisons. Those comparisons should appear in the Discussion section. Manuscripts reporting sequence data must have GenBank accession numbers prior to submitting. One of the hallmarks for experimental evidence is repeatability. Care should be taken to ensure that experiments are adequately replicated. The results of experiments must be replicated, either by replicating treatments within experiments or by repeating experiments.

Acknowledgments

An Acknowledgments section, if desired, shall follow the Discussion section. Acknowledgments of individuals should include affiliations but not titles, such as Dr., Mr., or Ms. Affiliations shall include institution, city, and state.

Appendix

A technical Appendix, if desired, shall follow the Discussion section or Acknowledgments, if present. The Appendix may contain supplementary material, explanations, and elaborations that are not essential to other major sections but are helpful to the reader. Novel computer programs or mathematical computations would be appropriate. The Appendix will not be a repository for raw data.

References

Citations in Text. In the body of the manuscript, refer to authors as follows: Smith and Jones (1992) or Smith and Jones (1990, 1992). If the sentence structure requires that the authors' names be included in parentheses, the proper format is (Smith and Jones, 1982; Jones, 1988a,b; Jones et al., 1993). Where there are more than two authors of one article, the first author's name is followed by the abbreviation et al. More than one article listed in the same sentence of text must be in chronological order first, and alphabetical order for two publications in the same year. Work that has not been accepted for publication shall be listed in the text as: "J. E. Jones (institution, city, and state, personal communication)." The author's own unpublished work should be listed in the text as "(J. Smith, unpublished data)." Personal communications and unpublished data must not be included in the References section.

References Section. To be listed in the References section, papers must be published or accepted for publication. Manuscripts submitted for publication can be cited as "personal communication" or "unpublished data" in the text.

Citation of abstracts, conference proceedings, and other works that have not been peer reviewed is strongly discouraged unless essential to the paper. Abstract and proceedings references are not apropriate citations in the Materials and Methods section of a paper.

In the References section, references shall first be listed alphabetically by author(s)' last name(s), and then chronologically. The year of publication follows the authors' names. As with text citations, two or more publications by the same author or set of authors in the same year shall be differentiated by adding lowercase letters after the date. The dates for papers with the same first author that would be abbreviated in the text as et al., even though the second and subsequent authors differ, shall also be differentiated by letters. All authors' names must appear in the Reference section. Journals shall be abbreviated according to the conventional ISO abbreviations given in journals database of the National Library of Medicine (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?db=journals). One-word titles must be spelled out. Inclusive page numbers must be provided. Sample references are given below. Consult recent issues of *Poultry Science* for examples not included below.

Article:

Bagley, L. G., and V. L. Christensen. 1991. Hatchability and physiology of turkey embryos incubated at sea level with increased eggshell permeability. Poult. Sci. 70:1412–1418.

Bagley, L. G., V. L. Christensen, and R. P. Gildersleeve. 1990. Hematological indices of turkey embryos incubated at high altitude as affected by oxygen and shell permeability. Poult. Sci. 69:2035–2039.

Witter, R. L., and I. M. Gimeno. 2006. Susceptibility of adult chickens, with and without prior vaccination, to challenge with Marek's disease virus. Avian Dis. 50:354–365. doi:10.1637/7498-010306R.1

Book:

Metcalfe, J., M. K. Stock, and R. L. Ingermann. 1984. The effects of oxygen on growth and development of the chick embryo. Pages 205-219 in Respiration and Metabolism of Embryonic Vertebrates. R. S. Seymour, ed. Dr. W. Junk, Dordrecht, the Netherlands.

National Research Council. 1994. Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Federal Register:

Department of Agriculture, Plant and Animal Health Inspection Service. 2004. Blood and tissue collection at slaughtering and rendering establishments, final rule. 9CFR part 71. Fed. Regist. 69:10137–10151.

Other:

Choct, M., and R. J. Hughes. 1996. Long-chain hydrocarbons as a marker for digestibility studies in poultry. Proc. Aust. Poult. Sci. Symp. 8:186. (Abstr.)

Dyro, F. M. 2005. Arsenic. WebMD. http://www.emedicine.com/neuro/topic20.htm Accessed Feb. 2006.

El Halawani, M. E., and I. Rosenboim. 2004. Method to enhance reproductive performance in poultry. Univ. Minnesota, assignee. US Pat. No. 6,766,767.

Hruby, M., J. C. Remus, and E. E. M. Pierson. 2004. Nutritional strategies to meet the challenge of feeding poultry without antibiotic growth promotants. Proc. 2nd Mid-Atlantic Nutr. Conf., Timonium, MD. Univ. Maryland, College Park.

Luzuriaga, D. A. 1999. Application of computer vision and electronic nose technologies for quality assessment of color and odor of shrimp and salmon. PhD Diss. Univ. Florida, Gainesville.

Peak, S. D., and J. Brake. 2000. The influence of feeding program on broiler breeder male mortality. Poult. Sci. 79(Suppl. 1):2. (Abstr.)

Tables

Tables must be created using the MS Word table feature and inserted in the manuscript after the references section. When possible, tables should be organized to fit across the page without running broadside. Be aware of the dimensions of the printed page when planning tables (use of more than 15 columns will create layout problems). Place the table number and title on the same line above the table. The table title does not require a period. Do not use vertical lines and use few horizontal lines. Use of bold and italic typefaces in the table body should be done sparingly; such use must be defined in a footnote. Each table must be on a separate page. To facilitate placement of all tables into the manuscript file (just after the references) authors should use "section breaks" rather than "page breaks" at the end of the manuscript (before the tables) and between tables.

Units of measure for each variable must be indicated. Papers with several tables must use consistent format. All columns must have appropriate headings.

Abbreviations not found on the inside front cover of the journal must be defined in each table and must match those used in the text. Footnotes to tables should be marked by superscript numbers. Each footnote should begin a new line.

Superscript letters shall be used for the separation of means in the body of the table and explanatory footnotes must be provided [i.e., "Means within a row lacking a common superscript differ ($P < 0.05$)."]; other significant P-values may be specified. Comparison of means within rows and columns should be indicated by different series of superscripts (e.g., a,b, . . . in rows; x–z . . . in columns) The first alphabetical letter in the series (e.g., a or A) shall be used to indicate the largest mean. Lowercase superscripts indicate $P \leq 0.05$. Uppercase letters indicate $P \leq 0.01$ or less.

Probability values may be indicated as follows: $^{*}P \leq 0.05$, $^{**}P \leq 0.01$, $^{***}P \leq 0.001$, and $^{\dagger}P \leq 0.10$. Consult a recent issue of *Poultry Science* for examples of tables.

Figures

To facilitate review, figures should be placed at the end of the manuscript (separated by section breaks). Each figure should be placed on a separate page, and identified by the manuscript number and the figure number. A figure with multiple panels or parts should appear on one page (e.g., if Figure 1 has parts a, b, and c, place all of these on the same page). Figure captions should be typed (double spaced) on a separate page.

- ***Figure Size.*** Prepare figures at final size for publication. Figures should be prepared to fit one column (8.9 cm wide), 2 columns (14 cm wide), or full-page width (19 cm wide).
- ***Font Size.*** Ensure that all type within the figure and axis labels are readable at final publication size. A minimum type size of 8 points (after reduction) should be used.
- ***Fonts.*** Use Helvetica or Times New Roman. Symbols may be inserted using the Symbol palette in Times New Roman.
- ***Line Weight.*** For line graphs, use a minimum stroke weight of 1 point for all lines. If multiple lines are to be distinguished, use solid, long-dash, short-dash, and dotted lines. Avoid the use of color, gray, or shaded lines, as these will not reproduce well. Lines with different symbols for the data points may also be used to distinguish curves.
- ***Axis Labels.*** Each axis should have a description and a unit. Units may be separated from the descriptor by a comma or parentheses, and should be consistent within a manuscript.
- ***Shading and Fill Patterns.*** For bar charts, use different fill patterns if needed (e.g., black, white, gray, diagonal stripes). Avoid the use of multiple shades of gray, as they will not be easily distinguishable in print.
- ***Symbols.*** Identify curves and data points using the following symbols only: □, ■, ○, ●, ▲, ▼, △, ▽, ◇, ◆, +, or ×. Symbols should be defined in a key on the figure if possible.
- ***File Formats.*** Figures can be submitted in Word, PDF, EPS, TIFF, and JPEG. Avoid PowerPoint files and other formats. For the best printed quality, line art should be prepared at 600 ppi. Grayscale and color images and photomicrographs should be at least 300 ppi.
- ***Grayscale Figures.*** If figures are to be reproduced in grayscale (black and white), submit in grayscale. Often color will mask contrast problems that are apparent only when the figure is reproduced in grayscale.
- ***Color Figures.*** If figures are to appear in color in the print journal, files must be submitted in CMYK color (not RGB).
- ***Photomicrographs.*** Photomicrographs must have their unmagnified size designated, either in the caption or with a scale bar on the figure. Reduction for publication can make a magnification power designation (e.g., 100×) inappropriate.
- ***Caption.*** The caption should provide sufficient information that the figure can be understood with excessive reference to the text. All author-derived abbreviations used in the figure should be defined in the caption.
- ***General Tips.*** Avoid the use of three-dimensional bar charts, unless essential to the presentation of the data. Use the simplest shading scheme possible to

present the data clearly. Ensure that data, symbols, axis labels, lines, and key are clear and easily readable at final publication size.

Color Figures. Submitted color images should be at least 300 ppi. The cost to publish each color figure is $995; a surcharge for color reprints ordered will be assessed. Authors must agree in writing to bear the costs of color production after acceptance and prior to publication of the paper.

Miscellaneous Usage Notes

Abbreviations. Abbreviations shall not be used in the title, key words, or to begin sentences, except when they are widely known throughout science (e.g., DNA, RNA) or are terms better known by abbreviation (e.g., IgG, CD). A helpful criterion for use of abbreviation is whether it has been accepted into thesauri and indexes widely used for searching major bibliographic databases in the scientific field. Abbreviations may be used in heads within the paper, if they have been first defined within the text. The inside back cover of every issue of the journal lists abbreviations that can be used without definition. The list is subject to revision at any time, so authors should always consult the most recent issue of the journal (or the updated list at http://ps.fass.org/) for relevant information. Abbreviations are allowed when they help the flow of the manuscript; however, excessive use of abbreviations can confuse the reader. The suitability of abbreviations will be evaluated by the reviewers and editors during the review process and by the technical editor during editing. As a rule, author-derived abbreviations should be in all capital letters. Terms used less than three times must be spelled out in full rather than abbreviated. All terms are to be spelled out in full with the abbreviation following in bold type in parentheses the first time they are mentioned in the main body of the text. Abbreviations shall be used consistently thereafter, rather than the full term.

The abstract, text, each table, and each figure must be understood independently of each other. Therefore, abbreviations shall be defined within each of these units of the manuscript.

Plural abbreviations do not require "s." Chemical symbols and three-letter abbreviations for amino acids do not need definition. Units of measure, except those in the standard *Poultry Science* abbreviation list, should be abbreviated as listed in the *CRC Handbook for Chemistry and Physics* (CRC Press, 2000 Corporate Blvd., Boca Raton, FL 33431) and do not need to be defined.

The following abbreviations may be used without definition in *Poultry Science*.

A	adenine
ADG	average daily gain
ADFI	average daily feed intake
AME	apparent metabolizable energy
AME_n	nitrogen-corrected apparent metabolizable energy
ANOVA	analysis of variance
B cell	bursal-derived, bursal-equivalent derived cell
bp	base pairs
BSA	bovine serum albumin
BW	body weight
C	cytosine
cDNA	complementary DNA
cfu	colony-forming units
CI	confidence interval
CP	crude protein
cpm	counts per minute
CV	coefficient of variation
d	day
df	degrees of freedom
DM	dry matter
DNA	deoxyribonucleic acid
EDTA	ethylenediaminetetraacetate
ELISA	enzyme-linked immunosorbent antibody assay
EST	expressed sequence tag
g	gram
g	gravity
G	guanine
GAT	glutamic acid-alanine-tyrosine
G:F	gain-to-feed ratio
GLM	general linear model
h	hour
HEPES	*N*-2-hydroxyethyl piperazine-*N'*-ethane-sulfonic acid
HPLC	high-performance (high-pressure) liquid chromatography
ICU	international chick units
Ig	immunoglobulin
IL	interleukin
IU	international units
kb	kilobase pairs
kDa	kilodalton
L	liter*
L:D	hours light:hours darkness in a photoperiod (e.g., 23L:1D)
m	meter
µ	micro
M	molar
MAS	marker-assisted selection
ME	metabolizable energy
ME_n	nitrogen-corrected metabolizable energy
MHC	major histocompatibility complex
mRNA	messenger ribonucleic acid
min	minute
mo	month
MS	mean square
n	number of observations
N	normal
NAD	nicotinamide adenine dinucleotide
NADH	reduced nicotinamide adenine dinucleotide
NRC	National Research Council
NS	not significant
PAGE	polyacrylamide gel electrophoresis
PBS	phosphate-buffered saline
PCR	polymerase chain reaction
pfu	plaque-forming units
QTL	quantitative trait loci
r	correlation coefficient
r^2	coefficient of determination, simple
R^2	coefficient of determination, multiple
RFLP	restriction fragment length polymorphism
RH	relative humidity
RIA	radioimmunoassay
RNA	ribonucleic acid
rpm	revolutions per minute
s	second
SD	standard deviation
SDS	sodium dodecyl sulfate
SE	standard error
SEM	standard error of the mean
SRBC	sheep red blood cells
SNP	single nucleotide polymorphism
T	thymine
TBA	thiobarbituric acid
T cell	thymic-derived cell
TME	true metabolizable energy
TME_n	nitrogen-corrected true metabolizable energy
Tris	tris(hydroxymethyl)aminomethane
TSAA	total sulfur amino acids
U	uridine
USDA	United States Department of Agriculture
UV	ultraviolet

vol/vol	volume to volume
vs.	versus
wt/vol	weight to volume
wt/wt	weight to weight
wk	week
yr	year

[a]Also capitalized with any combination, e.g., mL.

International Words and Phrases. Non-English words in common usage (defined in recent editions of standard dictionaries) will not appear in italics (e.g., in vitro, in vivo, in situ, a priori). However, genus and species of plants, animals, or bacteria and viruses should be italicized. Authors must indicate accent marks and other diacriticals on international names and institutions. German nouns shall begin with capital letters.

Capitalization. Breed and variety names are to be capitalized (e.g., Single Comb White Leghorn).

Number Style. Numbers less than 1 shall be written with preceding zeros (e.g., 0.75). All numbers shall be written as digits. Measures must be in the metric system; however, US equivalents may be given in parentheses. *Poultry Science* requires that measures of energy be given in calories rather than joules, but the equivalent in joules may be shown in parentheses or in a footnote to tables. Units of measure not preceded by numbers must be written out rather than abbreviated (e.g., lysine content was measured in milligrams per kilogram of diet) unless used parenthetically. Measures of variation must be defined in the Abstract and in the body of the paper at first use. Units of measure for feed conversion or feed efficiency shall be provided (i.e., g:g).

Nucleotide Sequences. Nucleotide sequence data must relate to poultry or poultry pathogens and must complement biological data published in the same or a companion paper. If sequences are excessively long, it is suggested that the most relevant sections of the data be published in *Poultry Science* and the remaining sequences be submitted to one of the sequence databases. Acceptance for publication is contingent on the submission of sequence data to one of the databases. The following statement should appear as a footnote to the title on the title page of the manuscript. "The nucleotide sequence data reported in this paper have been submitted to GenBank Submission (Mail Stop K710, Los Alamos National Laboratories, Los Alamos, NM 87545) nucleotide sequence database and have been assigned the accession number XNNNNN."

Publication of the description of molecular clones is assumed by the editors to place them in the public sector. Therefore, they shall be made available to other scientists for research purposes.

Nucleotide sequences must be submitted as camera-ready figures no larger than 21.6 × 27.9 cm in standard (portrait) orientation. Abbreviations should follow *Poultry Science* guidelines.

Gene and Protein Nomenclature. Authors are required to use only approved gene and protein names and symbols. For poultry, full gene names should not be italicized. Gene symbols should be in uppercase letters and should be in italics. A protein symbol should be in the same format as its gene except the protein symbol should not be in italics.

General Usage. Note that "and/or" is not permitted; choose the more appropriate meaning or use "x or y or both."

Use the slant line only when it means "per" with numbered units of measure or "divided by" in equations. Use only one slant line in a given expression (e.g., g/d per chick). The slant line may not be used to indicate ratios or mixtures.

Use "to" instead of a hyphen to indicate a range.

Insert spaces around all signs (except slant lines) of operation (=, −, +, ×, >, or <, etc.) when these signs occur between two items.

Items in a series should be separated by commas (e.g., a, b, and c).

Restrict the use of "while" and "since" to meanings related to time. Appropriate substitutes include "and," "but," or "whereas" for "while" and "because" or "although" for "since."

Leading (initial) zeros should be used with numbers less than 1 (e.g., 0.01).

Commas should be used in numbers greater than 999.

Registered (®) and trademark (™) symbols should not be used, unless as part of an article title in the References section. Trademarked product names should be capitalized.

Supplemental Information

The following information is available online and updated regularly. Please refer to these pages when preparing a manuscript for submission.

Journal Title Abbreviations. A list of standard abbreviations for common journal titles is available online (http://ps.fass.org/misc/ifora.dtl).

SI Units. The following site (National Institute of Standards and Technology) provides a comprehensive guide to SI units and usage: http://physics.nist.gov/Pubs/SP811/contents.html

Figure and Table Preparation Guidelines. Current detailed information on figure and table preparation can be found at http://ps.fass.org/misc/ifora.dtl

Manuscript Central Instructions. Manuscripts are submitted online (http://mc.manuscriptcentral.com/psa). Full user instructions for using the Manuscript Central system are available on the Mansuscript Central home page.

Anexo 6. Manual de Usuario: Sistema de Gestión de Información para Granjas Avícolas

Esta aplicación informática administrativa tiene como nombre Sistema de Gestión de Información para Granjas Avícolas, fue construida con modelos matemáticos y bajo un ambiente grafico amable y conocido como el Excel. Este sistema pretende optimizar el proceso de toma, procesamiento, análisis y almacenamiento de información proveniente del sistema de producción avícola y además, facilitar la identificación de puntos críticos y toma de decisiones en tiempo real.

Para acceder al manual de click aqui

Anexo 7. Artículo de divulgación de las actividades del proyecto de investigación CODI

Este artículo presenta los avances en el desarrollo del sistema de apoyo a la toma de decisiones (SATD), y el uso de cámaras de video y sensores para la caracterización del sistema productivo y la captura de informacion que servirá de furnte de datos para el *software* (Sistema de Gestión de Informacion para Granjas Avícolas).

Desarrollo de aplicaciones tecnológicas integrales para el manejo de las producciones avícolas del país: sistemas de apoyo a toma de decisiones (SATD).

L F Galeano Vasco*, Zoot, MSc, cPhD; D M Gutiérrez Zapata*, Zoot, Est MSc; C Acevedo Valladares*, Zoot; M F Cerón-Muñoz*, Zoot, MSc, Dr.

**Grupo de Investigación en Genética, Mejoramiento y Modelación Animal-GaMMA- Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.*
*Proyecto CODI E01533 “*Diseño y validación de sistemas de apoyo a la toma de decisiones en granjas avícolas productoras de huevo comercial”
gavo76@gmail.com

La permanencia en el sector de cualquier sistema productivo empresarial requiere de la maximización de su rentabilidad; para ello es necesario implementar procesos gerenciales que procuren mejorar la calidad, la productividad y la competitividad de la empresa. La efectividad de estos procesos requiere de la definición y aplicación de estrategias a corto, mediano y largo plazo; las cuales deben estar fundamentadas en el conocimiento, análisis y documentación de las actividades propias del negocio, logrando definir y controlar los factores que intervienen de manera directa o indirecta en la repuesta económica y productiva del sistema.

La producción empresarial avícola de huevo depende del mantenimiento de la respuesta productiva de las aves en un nivel óptimo que permita maximizar el uso de los recursos propios. Este nivel productivo está condicionado por múltiples factores, tales como los ambientales (temperatura, humedad relativa, ventilación), de manejo (densidad de las aves, número de comederos y bebederos por ave, programa de iluminación), nutricionales (balance nutricional, granulometría, tipo de comederos, sistema de alimentación, suplementación mineral), y aquellos propios del ave (estirpe, edad, peso), entre otros (Flores 1994; Santomá y Pontes 2004; Dozier et al 2005; Hester 2005; Lin et al 2005; Abiodun et al 2006; Abu-Dieyeh 2006; Borges et al 2007; Rozenboim et al 2007; Zang et al 2009).

Cada uno de estos factores puede ser medido, registrado y analizado; pero por su volumen y variabilidad dificultan su evaluación cuando no se cuenta con aplicaciones informáticas, tales como los modelos matemáticos y la simulación (Oviedo 2002; Blasco 2004). En el país muchos productores solo pueden tomar acciones correctivas una vez se ha dejado de percibir ganancias debido a la caída en la producción o alteraciones en el ave; esto por la poca información disponible (ya que generalmente solo se manejan registros de consumo, producción y mortalidad), por la falta de aplicaciones tecnológicas que faciliten su procesamiento y análisis, y por la común costumbre de tomar decisiones sobre los datos correspondientes a un período pasado de producción; es decir, la semana dos se planifica con base en los resultados de la semana uno, pero si en la semana uno no se cumplieron los objetivos productivos, ya las perdidas en el proceso están hechas.

Por lo anterior, se viene impulsando el desarrollo de herramientas que incluyan el uso de tecnologías informáticas, posibilitando a productores e investigadores hacer una continua evaluación del sistema mediante el monitoreo, análisis y control de los factores que intervienen en la producción; esto con el fin de direccionar una toma de decisiones objetiva, que permita reducir los costos y maximizar la rentabilidad y eficiencia del proceso productivo (Oviedo 2002).

Entre estas herramientas se encuentran los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (SATD); debido a que en su construcción se necesita conocer al detalle los componentes del proceso a modelar, los SATD (ver esquema en Figura 1) permiten conocer las relaciones entre los elementos de un determinado sistema, proporcionando así el entendimiento de las partes y sus interrelaciones, o permitiendo la identificación de un problema específico y brindando las mejores alternativas para su solución (Wang 1997; Yam et al 2001). Lo anterior se logra gracias al uso de modelos matemáticos, los cuales emplean ecuaciones para describir o simular procesos en un sistema (Dumas et al 2008). Actualmente, tienen gran aplicación en el ámbito agropecuario, principalmente en el desarrollo y validación de funciones de crecimiento animal o vegetal, producción, consumo de alimento, mejoramiento genético, entre otros (Blasco 2004).



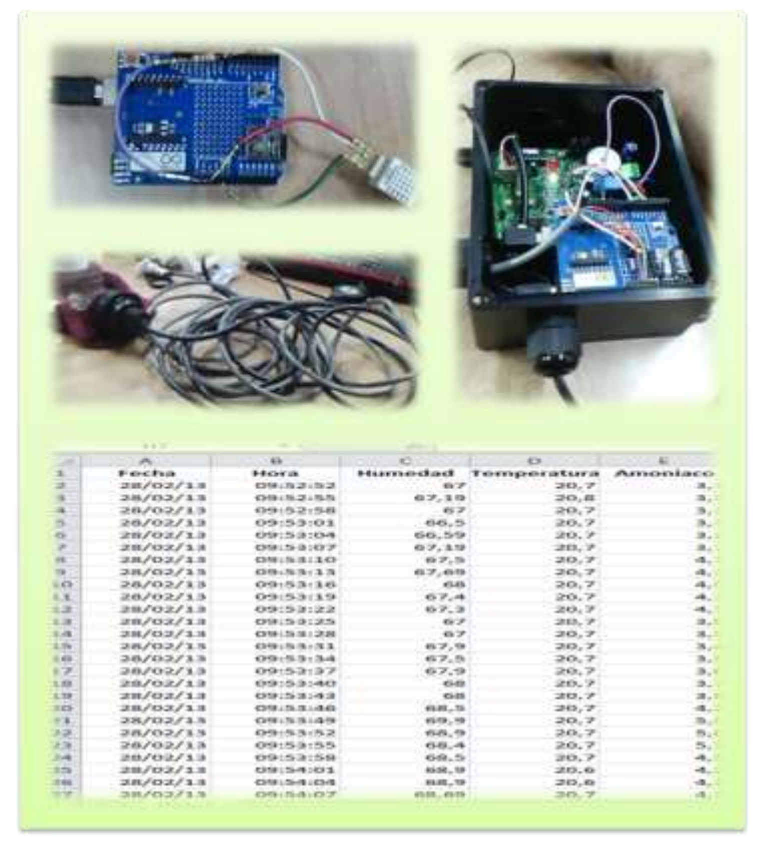
Figura 1. Generalización de las fases que se experimentan durante el uso de un sistema de apoyo a la toma de decisiones (SATD).

En el sector avícola en particular, el desarrollo de SATD se ha enfocado sobre temas sanitarios como la presencia de enfermedades y el manejo de las excretas (Rose et al 2003; Karmakar et al 2007), en procesos de control de calidad, sanidad y trazabilidad de huevo y carne de pollo (Patel et al 1998; Mertens et al 2008; Wan et

al 2008), y en el control de algunos procesos como ventilación e iluminación mediante la activación o desactivación de ventiladores, controladores de cortinas y persianas, con el fin de garantizar un ambiente confortable en las instalaciones que favorezca el desempeño productivo de las aves (Sonawane et al 2008).

La importancia de estos sistemas radica en su capacidad de brindar elementos al productor que le permitan mantener un nivel de eficiencia óptimo en su sistema productivo al identificar puntos críticos, realizar pronósticos y generar alternativas de control (Mollo et al 2009). En la actualidad, estas aplicaciones tecnológicas no tienen gran difusión, su alcance es limitado, y en su mayoría solo permiten el análisis de uno o dos componentes de la producción debido a la cantidad de factores que intervienen en el desempeño de la misma. Es por ello que la Universidad de Antioquia viene desarrollando un proyecto de investigación cuyo objetivo es el diseño de un SATD que integre todos los posibles componentes inherentes a los sistemas de producción de huevo comercial en Colombia; permitiendo una mejor caracterización de éstos y brindando alternativas de manejo que contribuyan al progreso de los avicultores y al crecimiento de la industria en el país.

La investigación tiene lugar en la Hacienda “La Montaña” propiedad de la universidad, la cual se ubica en el municipio de San Pedro de los Milagros en Antioquia. El desarrollo de la primera fase consiste en reunir información acerca de los sistemas productivos por medio de la consecución de registros históricos de la granja, encuestas directas a empleados y personal administrativo, e información colectada por medio de sistemas de monitoreo y vigilancia que han sido instalados para el desarrollo de otras investigaciones conjuntas (Figuras 2 y 3). Entre los aspectos que se desean conocer están las condiciones de alojamiento, alimentación, manejo, línea genética, producción, mortalidad, condiciones agroecológicas y ambientales, entre otros, que sirven para la caracterización del sistema. Esta información es analizada por medio de modelos matemáticos; aquí se logra establecer las relaciones entre los diferentes aspectos, y se identifica cuáles tienen mayor impacto en el sistema productivo.



	A	B	C	D	E
1	Fecha	Hora	Humedad	Temperatura	Amoniaco
2	28/02/13	09:52:52	67	20,7	3,
3	28/02/13	09:52:55	67,19	20,8	3,
4	28/02/13	09:52:58	67	20,7	3,
5	28/02/13	09:53:01	66,5	20,7	3,
6	28/02/13	09:53:04	66,59	20,7	3,
7	28/02/13	09:53:07	67,19	20,7	3,
8	28/02/13	09:53:10	67,5	20,7	4,
9	28/02/13	09:53:13	67,69	20,7	4,
10	28/02/13	09:53:16	68	20,7	4,
11	28/02/13	09:53:19	67,4	20,7	4,
12	28/02/13	09:53:22	67,3	20,7	4,
13	28/02/13	09:53:25	67	20,7	3,
14	28/02/13	09:53:28	67	20,7	3,
15	28/02/13	09:53:31	67,9	20,7	3,
16	28/02/13	09:53:34	67,5	20,7	3,
17	28/02/13	09:53:37	67,9	20,7	3,
18	28/02/13	09:53:40	68	20,7	3,
19	28/02/13	09:53:43	68	20,7	3,
20	28/02/13	09:53:46	68,5	20,7	4,
21	28/02/13	09:53:49	69,9	20,7	3,
22	28/02/13	09:53:52	68,9	20,7	5,
23	28/02/13	09:53:55	68,4	20,7	5,
24	28/02/13	09:53:58	68,5	20,7	4,
25	28/02/13	09:54:01	68,9	20,6	4,
26	28/02/13	09:54:04	68,9	20,8	4,
27	28/02/13	09:54:07	68,69	20,7	4,

Figura 2. Nodo sensor para monitoreo continuo de temperatura, humedad relativa y producción de gas amoniaco (NH_3) en instalaciones avícolas.



Figura 3. Sistema de vigilancia para evaluación del comportamiento aviar en un galpón de ponedoras.

Estos sistemas para monitoreo ambiental y evaluación del comportamiento aviar están aún en período de prueba; con la información que se recoja de ellos se pretende conocer aspectos ambientales y etológicos propios de la granja, y establecer las relaciones entre estas y otras variables como las de tipo productivo.

También con la información productiva colectada hasta el momento, se han realizado algunas aproximaciones al modelado de las curvas de crecimiento y de producción de huevo de algunos lotes (Figuras 4 y 5); encontrándose para estas funciones, que los valores estimados por los modelos son cercanos a los valores reales obtenidos en granja.

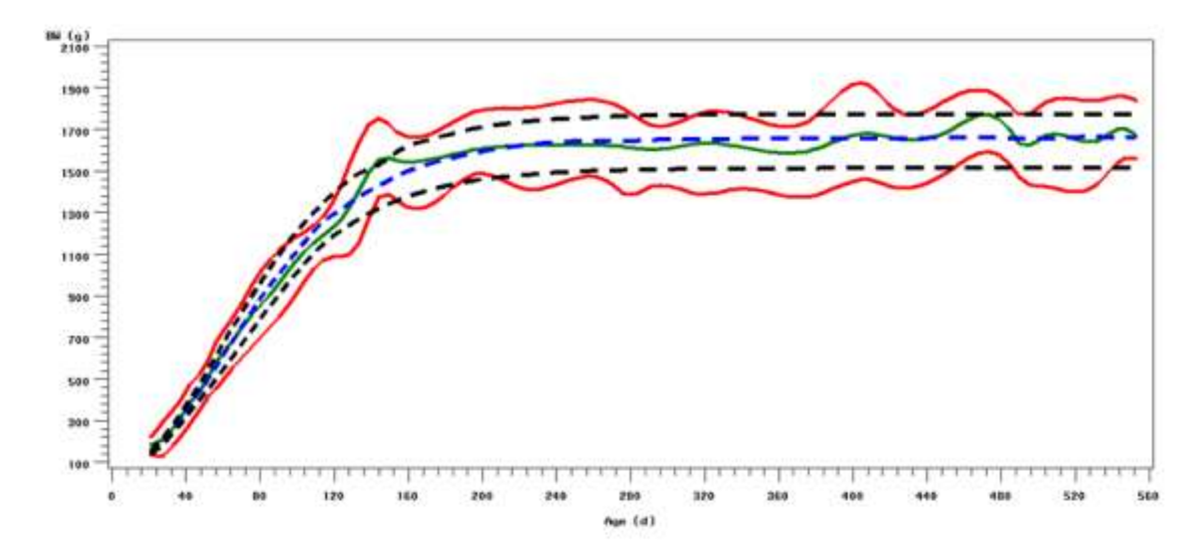


Figura 4. Curva de crecimiento proyectado por el modelo de Gompertz para línea Lohmann LSL del sistema de producción de la Universidad de Antioquia. (▬ ▬: límite superior e inferior datos estimados; ▬ ▬: promedio datos estimados; ▬▬: promedio datos reales; ▬▬: límite superior e inferior datos reales). BW: peso corporal y Age: edad en días.

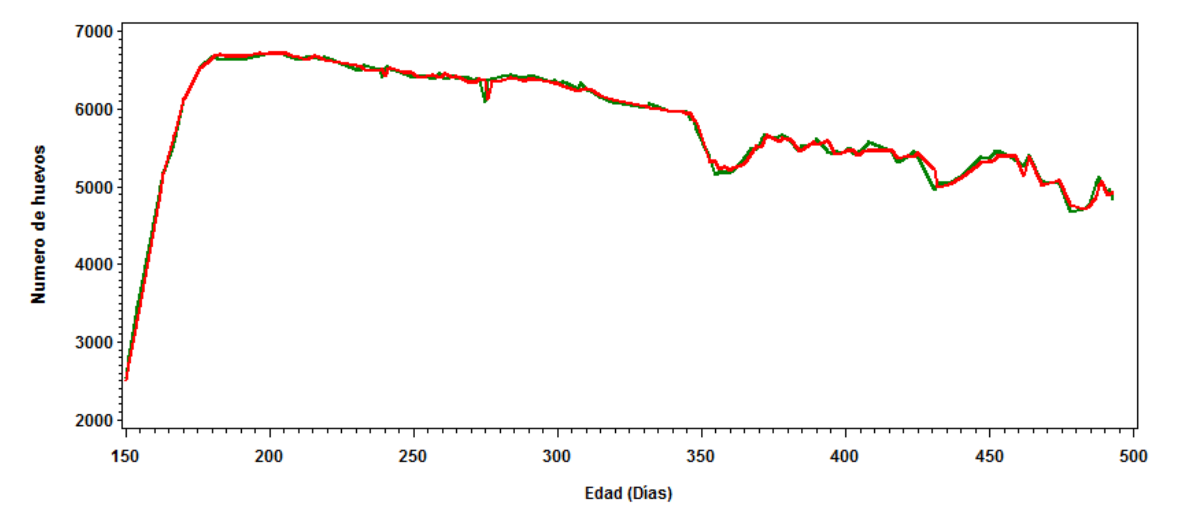


Figura 5. Curva de producción de huevo realizada con un modelo de Redes neuronales artificiales en un lote de producción de la Universidad de Antioquia (▬▬: datos reales; ▬▬: datos estimados por el modelo).

En la segunda fase del diseño del SATD, se creará la herramienta informática que tiene como base para el análisis los modelos matemáticos mencionados anteriormente; en ésta, el usuario podrá introducir información propia de cada granja (Figura 6), como resultado se le presentará un informe indicando el estado actual de la producción y los puntos sobre los cuales debe ejercer control, así como las posibles alternativas para lograrlo ordenadas de mayor a menor en base a su capacidad de contribuir al manejo de la situación.

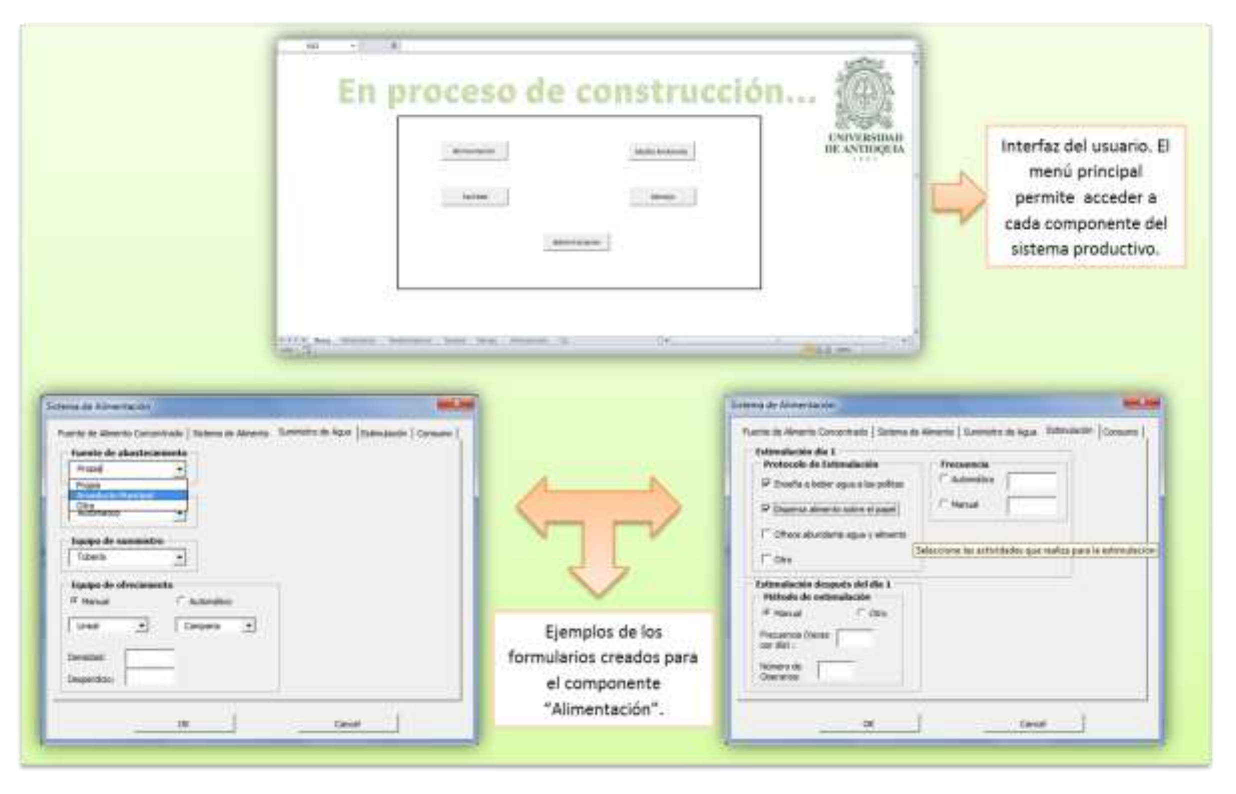


Figura 6. Interfaz del usuario en construcción. Consta de cinco formularios diseñados para el ingreso de información inherente a la producción con base en los componentes principales (alimentación, medio ambiente, sanidad, manejo y administración).

Esta investigación es el punto de partida para el desarrollo y validación de aplicaciones informáticas que permitan la estandarización y mejoramiento de la calidad de los procesos productivos acorde a las exigencias normativas y comerciales del sector avícola.

Finalmente, es importante señalar que la generación de estas herramientas representa una ayuda importante para el productor, pero es este último quien tiene la responsabilidad de tomar la decisión adecuada y de velar por que se cumpla a cabalidad lo planteado en base a ella.

Referencias.

1. Abiodun O, Adedapo A 2006 The effect of climate on poultry productivity in Ilorin kwara state, Nigeria. International Journal of Poultry Science, 5(11): 1061-1068: http://www.pjbs.org/ijps/fin728.pdf
2. Abu-Dieyeh Z H M 2006 Effect of high ambient temperature per se on growth performance of broilers. International Journal of Poultry Science, 5(1):19-21: http://www.pjbs.org/ijps/fin489.pdf
3. Blasco A 2004 XIV Curso internacional sobre mejora genética animal. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España
4. Borges S A, Fischer Da Silva A V, and Maiorka A 2007 Acid-base balance in broilers. World's Poultry Science Journal, 63(1):73-81
5. Dozier W A, Lott B D and Branton S L 2005 Growth Responses of Male Broilers Subjected to Increasing Air Velocities at High Ambient Temperatures and a High Dew Point[1]. Poultry Science, 84(6):962–966: http://ps.fass.org/content/84/6/962.full.pdf
6. Dumas A, Dijkstra J and France J 2008 Mathematical modelling in animal nutrition: A centenary review. Journal of Agricultural Science, 146(2):123–142: http://edepot.wur.nl/37069
7. Flores A 1994 Programas de alimentación en avicultura: ponedoras comerciales in Documentos FEDNA - X curso de especialización FEDNA, Madrid, España: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Alimentaci%C3%B3n__Gallinas_Ponedoras.pdf

8. Hester P Y 2005 Impact of science and management on the welfare of egg laying strains of hens[1]. Poultry Science, 84(5):687–696: http://ps.fass.org/content/84/5/687.full.pdf
9. Karmakar S, Laguë C, Agnew J and Landry H 2007 Integrated decision support system (DSS) for manure management: A review and perspective. Computers and Electronics in Agriculture, 57(2):190–201: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169907000713
10. Lin H, Zhang H F, Jiao H C, Sui S J, Gu X H, Zhang Z Y, Buyze J and Decuypere E 2005 Thermoregulation Responses of Broiler Chickens to Humidity at Different Ambient Temperatures. I. One Week of Age. Poultry Science, 84(8):1166–1172: http://ps.fass.org/content/84/8/1173.full.pdf
11. Mertens K, Vaesen I, Löffel J, Ostyn B, Kemps B, Kamers B, Bamelis F, Zoons J, Darius P, Decuypere E, De Baerdemaeker J and De Ketelaere B 2008 Data-based design of an intelligent control chart for the daily monitoring of the average egg weight. Computers and Electronics in Agriculture, 61(2):222-232: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169907002293
12. Mollo M N, Vendrametto O and Okano MT 2009 Precision livestock tools to improve products and processes in broiler production: a review. Brazilian Journal of Poultry Science, 11(4):211-218: http://www.scielo.br/pdf/rbca/v11n4/v11n4a1.pdf
13. Oviedo E O 2002 Optimización de la producción Avícola por medio de Modelos Matemáticos. Industria Avícola
14. Patel V C, McClendon R W and Goodrum J W 1998 Development and evaluation of an expert system for egg sorting. Computers and Electronics in Agriculture, 20(2):97–116: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816999800009X
15. Rose N, Mariani J P, Drouin P, Toux J Y, Rose V and Colin P 2003 A decision-support system for *Salmonella* in broiler-chicken flocks. Preventive Veterinary Medicine, 59(1-2):27-42: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016758770300564#

16. Rozenboim I, Tako E, Gal-Garber O, Proudman J A and Uni Z 2007 The Effect of Heat Stress on Ovarian Function of Laying Hens. Poultry Science, 86(8):1760–1765: http://ps.fass.org/content/86/8/1760.full.pdf+html

17. Santomá G y Pontes M 2004 Interacción nutrición-manejo en explotaciones para aves y porcino. 1. introducción y factores ambientales. XX curso de especialización FEDNA, Barcelona, España: http://fundacionfedna.org/sites/default/files/04CAP_8.pdf

18. Sonawane Y R, Khandekar S, Mishra B K and Pandian S K 2008 Environment Monitoring and Control of a Polyhouse Farm through Internet. India: http://home.iitk.ac.in/~samkhan/Bio_data/publications/Khandekar_Conf_23.pdf

19. Wan Y, Yu S, Huang J, Yang J and Tsai C 2008 Automation integration for Taiwan country-chicken farm management using field server. World conference on agricultural information, Taiwan: http://www.cabi.org/GARA/FullTextPDF/2008/20083298161.pdf

20. Wang H 1997 Intelligent agent-assisted decision support systems: Integration of knowledge discovery, knowledge analysis, and group decision support. Expert Systems with Applications, 12(3):323-335: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417496001030#

21. Yam R C M, Tse P W, Li L and Tu P 2001 Intelligent Predictive Decision Support System for Condition-Based Maintenance. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 17(5):383-391: http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs001700170173

22. Zang J J, Piao X S, Huang D S, Wang J J, Ma X and Ma Y X 2009 Effects of Feed Particle Size and Feed Form on Growth Performance, Nutrient Metabolizability and Intestinal Morphology in Broiler Chickens. Asian-Australasian Journal of Animal Science, 22(1):107-112: http://www.ajas.info/Editor/manuscript/upload/22-14.pdf